

明細書

水分量測定方法及び装置

技術分野

[0001] 本発明は、紙、不織布、フィルムをはじめとするシート状物質の水分含有量又は水分含有率をマイクロ波の共振により測定する方法及び装置に関するものである。

背景技術

[0002] シート状物質の水分含有量又は水分含有率を測定する方法としては、従来から赤外線の吸収を用いたものやマイクロ波を利用したものが用いられてきている。

赤外線吸収による方法は、周囲の熱源からの赤外線をも吸収してしまうため、外乱熱による影響を受け、水分含有量又は水分含有率を正確に測定できない場合がある。また、赤外線吸収による方法は微量水分の測定は難しいといわれており、フィルムに有機物を塗布したもの等のシート状試料の水分含有量又は水分含有率の測定は困難である。

[0003] マイクロ波を利用したものの第1の例は進行波を用いたものである。マイクロ波導波路にシート状試料が接するように配置し、導波路をマイクロ波が試料に接しながら進むにつれて、そのパワーが水分によって減衰していくことを利用するといった方法が考案されている。例えば、特許文献1には、マイクロ波ホーンアンテナを用いて試料の含湿量を測定する装置について記載されているが、この種の発明は多く出願されている。

[0004] しかしながら、マイクロ波の進行波を用いる方法は、本発明が対象とするような共振を利用する方法とは異なる。マイクロ波が試料に当たって反射して戻ってくる波と進む波とが途中でぶつかり、合成されると定在波ができるが、これは本発明でいう共振による定在波とは物理的にも電気回路的にも全く異なるものである。反射による定在波も共振による定在波も、一定の座標上にある定位置において電界及び磁界がゼロとなる位置、並びに最大となる位置は変化しないという点では類似しているが、反射による定在波は共振ではないので、共振カープは得られない。共振とは電気回路的な共振状態であり、つまり共振器を含む測定系にインダクタンスL、キャパシタンスC、

抵抗Rの3つが備わっていなければならず、共振点においてはリアクタンス分がゼロであるという共振条件が成立していなければならない。

[0005] マイクロ波を利用したものの第2の例は共振を利用したものである。

特許文献2は空洞共振器を用いて水分含有量を測定する方法を記載している。そこでは試料を挟むように配置される一対の導波管で試料に隣接する開口部にそれぞれ外側方向に対向したフランジを備え、そのフランジが容量結合する空洞共振器が使用されている。

[0006] 特許文献3は空洞共振器の共振周波数とピーク電圧を実測して、特性方程式から水分と坪量の両方を算出する方法を示しているが、空洞共振器の構造自体については記載されていない。特許文献3の測定方法は、水分Xと坪量Yがそれぞれ独立にマイクロ波の最大共振点における周波数fと電圧vの実測データに寄与するのではなく、水量Xと坪量Yが互いに関係していることを発見したことによって、特性方程式を用いて初めてそれぞれ水分と坪量が算出されることを示している。

[0007] 特許文献4は空洞共振器を複数並べて水分量を測定することを記述しているが、そこで用いられている空洞共振器はリエントラント型空洞共振器である。リエントラント型空洞共振器は電界分布を規定しないし、電界ベクトルがシート状試料のシート面に平行にはならない。そのため、試料と電界との相互作用をする体積が小さく、測定精度がよくない。

[0008] 特許文献5は、同じく空洞共振器を使った水分測定を記述しているが、そこで用いられている空洞共振器は測定部位に対応する場所に凸部を設けた空洞共振器である。

特許文献4, 5では従来例として一対の導波管の開口が試料に対向するように配置される通常の空洞共振器も図示されているが、そのような空洞共振器はQ値が低く、高精度な測定は期待できない。

特許文献1:特公昭47-9080号公報

特許文献2:特公昭58-30534号公報

特許文献3:特開昭62-238447号公報

特許文献4:特開昭62-169041号公報

特許文献5:特公平6-58331号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0009] 本発明はフィルム、紙などのシート状物質の水分含有量又は水分含有率を、熱源などの外乱の影響を受けにくく、微量水分に対しても測定感度が優れて高精度に測定できる方法及び装置を提供することを目的とするものである。

課題を解決するための手段

[0010] 本発明の水分量測定方法もマイクロ波空洞共振器を用いるものであるが、本発明における空洞共振器は、導波管の途中に管軸に垂直に、穴の開いた2つのアイリスプレートを備え、アイリスプレート間が共振器部分となり、アイリスプレートの外側が進行波部分となっているとともに、その共振器部分を横切るように試料を配置するスリットを設けた空洞共振器である。しかも、測定周波数を1～25GHzの間での所定の範囲に限定し、前記スリットに試料がない場合の共振ピークレベルと試料がある場合の共振ピークレベルとの差に基づいて試料の水分含有量又は水分含有率を測定するものである。

[0011] また、本発明の測定装置は、導波管の途中に管軸に垂直に、穴の開いた2つのアイリスプレートを備え、アイリスプレート間が共振器部分となり、アイリスプレートの外側が進行波部分となっているとともに、前記共振器部分を横切るように試料を配置するスリットを設けたマイクロ波空洞共振器と、前記一対の進行波部分の一方に接続され、1～25GHzの間での所定の範囲の周波数で発振させるマイクロ波掃引発振器と、前記一対の進行波部分の他方に接続されたマイクロ波強度受信器と、前記マイクロ波強度受信器からの信号を受けてピークレベル検出し、前記スリットに試料がない場合の共振ピークレベルと試料がある場合の共振ピークレベルとの差に基づいて試料の水分含有量又は水分含有率を求めるデータ処理装置とを備えている。

[0012] 本発明で用いるマイクロ波空洞共振器は図2又は図3に示されるものである。

図2のマイクロ波空洞共振器は、導波管2Aが導波管部分4a, 4b, 6a及び6bからなり、その導波管2Aの途中に管軸に垂直に、穴の開いた2つのアイリスプレート8a, 8bを備え、アイリスプレート8a, 8b間が共振器部分4a, 4bとなり、アイリスプレート8a

, 8bの外側が進行波部分6a, 6bとなっており、共振器部分4a, 4bを横切るように試料10を配置するスリット12を設けたものであり、一方の進行波部分6aには1ー25GHzの間での所定の範囲の周波数で発振させるマイクロ波掃引発振器が接続され、他方の進行波部分6bにはマイクロ波強度受信器が接続されている。14a, 14bはそれぞれ進行波部分6a, 6bに設けられたアンテナであり、アンテナ14aはマイクロ波掃引発振器に接続され、アンテナ14bはマイクロ波強度受信器に接続されている。

[0013] 図3のマイクロ波空洞共振器は、導波管2Bが導波管部分4a, 4b, 4a, 4b, 16a及び16bからなる。一对の進行波部分の一方が一方のアイリスプレート8aに隣接する導波管部分16aとこの導波管部分16aにつながりマイクロ波掃引発振器に接続されている導波管部分6aとからなり、一对の進行波部分の他方が他方のアイリスプレート8bに隣接する導波管部分16bとこの導波管部分16bにつながりマイクロ波強度受信器に接続されている導波管部分6bとからなっているものである。

[0014] 図3のマイクロ波空洞共振器は、マイクロ波掃引発振器に接続された進行波部分の導波管部分6aとアイリスプレート8aとの間にさらに導波管部分16aを配置し、マイクロ波強度受信器に接続された進行波部分の導波管部分6bとアイリスプレート8bとの間にさらに導波管部分16bを配置した点において図2のマイクロ波空洞共振器と異なる。導波管部分16a, 16bはともに進行波部分である。

[0015] 本発明では、マイクロ波を共振器内で共振させ、共振器内部又は共振器近傍に試料を置き、試料を含む共振器系の共振特性から試料の有する水分含有量又は水分含有率を測定する。

マイクロ波共振器で共振をさせると図4のような共振カーブが得られる。右側の共振カーブは試料がない状態(ブランク)での共振カーブである。共振器の内部又は近傍に試料が存在すると、試料の有する誘電率によって左側の共振カーブのように共振周波数が低周波数側にシフトすると同時に、誘電損失率によってピークレベルが減少し、Q値も減少する。

[0016] この現象は種々の方法で説明されるが、図5のように電気回路的にはインダクタンスL、キャパシタンスC、抵抗RからなるLCR共振回路理論によっても説明できる。本発明における空洞共振器では、アイリスがリアクタンス成分及びキャパシタンス成分を

作り、導波管壁の抵抗分が加わって、LCR共振回路を形成している。試料の誘電率は容量Cに、誘電損失率は抵抗Rに相当し、これらが電磁結合により、共振器のL、C、Rと結合しているのと等価である。したがって、試料が存在すると容量Cは増加し、共振周波数 f ($f = 1/2\pi(LC)^{1/2}$) が小さくなる。同時に試料の誘電損失率によって抵抗Rも増加し、ピークレベルが減少するとともに、Q値も小さくなる。

また、本発明は空洞共振器を使用しているので、同じ現象が摂動理論によって説明することができるが、説明は省略する。

[0017] 本発明は、この誘電損失率によって共振カーブのピークレベルが変化することに着目して、水分含有量又は水分含有率を測定するものである。

概ね、汎用フィルムの誘電損失率は、 10^{-4} ～ 10^{-2} のオーダー、紙のそれは、 10^{-2} ～ 10^{-1} のオーダーである。これに対して、水の誘電損失率は13.1 (3GHz)と汎用フィルムや紙に比べて100倍から100000倍大きい。しかも汎用フィルムの場合、その誘電損失率は、例えば4GHz程度のマイクロ波領域においては、ほとんど水分と結晶化度によってのみ変化し、それ以外でフィルムの誘電損失率を大きくするものはない。後者の結晶化度による誘電損失率の変化は、結局のところフィルムの非晶部(アモルファス部)における分子運動に伴うマイクロ波エネルギーの吸収量に依存するので、例えばPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルムなどの場合、誘電損失率は 10^{-2} ～ 10^{-3} のオーダーで非常に小さく、またガラス転移点温度(T_g)以下の環境下において用いる限りはほとんど変化しない。したがって、万一汎用フィルムの誘電損失率が変化したとすれば、それは水分によるものであると考えられる。

[0018] この考え方を基本として、本発明者らは誘電損失率に着目し、新しい水分測定方法を考案した。つまり共振カーブのピークレベルをリアルタイムで測定する方法を考案し、結果的にはオンラインで高分子フィルムなどのシート状物質の水分量を測定することも可能にした。

[0019] 本発明者らは種々の試行を重ねた上で、図2、図3のようなアイリスプレートを備えたマイクロ波空洞共振器を用い、使用するマイクロ波の最適な周波数範囲として測定周波数を1～25GHzにある適当な範囲に選択することにより、従来の進行波の減衰量を測定する方法よりも高精度な測定が安定して得られ、また共振カーブのピークレ

ベルを確実に見つけることができ、誘電率の影響を受けず、つまり試料のもつ容量に影響されず、安定した測定ができた。

[0020] ここで、本発明の方法及び装置を従来のマイクロ波空洞共振器を用いたものと比較する。

マイクロ波空洞共振器を用いた測定では、試料を挿入すると試料が有する誘電率のために共振周波数は必ず低周波数側にシフトする筈であるのに、特許文献2では高い側にシフトするように記述されている。これは、誘電率、誘電損失率と共振カープとの関係についての原理上の解釈が本発明とは正反対であり、共振の原理からすれば試料を挿入した結果、共振周波数が試料の無いときに比べて高い側にシフトすることはあり得ない(負の誘電率の場合は高い側にシフトすることになるが、誘電率は必ず正である。)。もし特許文献2での記述が正しいとするならば、本発明とは原理及び基本的考え方が異なることになる。

[0021] また、特許文献2で共振器を共振させるメカニズムも本発明のものとは異なる。すなわち、同文献には「開口部12₁, 13₁にはそれぞれ外側方向に対向したフランジ12₂, 13₂が設けられており、このフランジ12₂, 13₂が容量結合して空洞共振器11を形成している。」(第2欄下から1ー5行)との記述があるが、本発明で用いている空洞共振器ではフランジは不要であり、空洞共振器を形成するメカニズムも、構成要素も異なる。本発明の空洞共振器は図2にあるように導波管を用い、途中にアイリスという穴の開いたプレートが入っているのが特徴である。アイリスまでは進行波部分、アイリス間が空洞共振器、すなわち定在波部分となる。ここで、アイリスがリアクタンス成分及びキャパシタンス成分を作り、導波管壁の抵抗分が加わって、LCR共振回路を形成している点が特許文献2の空洞共振器と基本的に異なる点である。

[0022] 特許文献3も空洞共振器の共振周波数とピーク電圧を実測して、特性方程式から水分と坪量の両方を算出する方法を示しているが、この考え方は、水分Xと坪量Yがそれぞれ独立にマイクロ波の最大共振点における周波数fと電圧vの実測データに寄与するのではなく、水量Xと坪量Yが互いに関係していることを発見したことによって、特性方程式を用いて初めてそれぞれ水分と坪量が算出されることを示している。これに対し、本発明は、試料の誘電率によって共振周波数は低い側にシフトし、試料の

誘電損失率によってピークレベルは低い側にシフトするという基本的な考え方に基づいている。したがって、水の誘電損失率は13.1(周波数:3GHz)と、フィルムの 10^{-3} ~ 10^{-4} のオーダーに比べて10000倍~100000倍大きいことに着目している。水分の他にこの誘電損失率を大きくするものは、高分子のアモルファスパートにおける分子運動による誘電的ロスのみであり、これは 10^{-3} オーダーと非常に小さいため問題にならない。したがって、水分量は誘電損失率にのみ着目すれば測れるという基本的な考え方があり、ここが特許文献3と根本的に異なる点である。

[0023] 特許文献4は空洞共振器を複数並べて水分量を測定することを記述しているが、そこで用いられている空洞共振器はリエントラント型空洞共振器であり、本発明で用いるアイリスプレートを備えた空洞共振器とは異なる。リエントラント型空洞共振器は電界分布を規定しないし、本発明のように電界ベクトルがシート状試料のシート面に平行にはならない。本発明のように電界がシート面に平行になれば、それだけ試料と電界との相互作用をする体積が大きくなり、電界とシートが垂直になる場合に比べて測定精度が格段とよくなるが、リエントラント型空洞共振器ではそのような効果は期待できない。

[0024] 特許文献5では、同じく空洞共振器を使った水分測定に関する記述があるが、測定部位に対応する場所に凸部を設けた空洞共振器を使っているところが特徴であり、本発明の空洞共振器とは構造も電界分布も共振モードも異なる。同文献に述べられているように、完全な直方体を作るのは実際上難しいため、このような方法を採用したとあるが、本発明で用いる導波管には内部に凸部などない点が大きく異なる。

[0025] 本発明において、試料の有無における共振ピークレベルの差を、試料の有無における共振周波数の差で除した値から、試料の水分含有量又は水分含有率を求めるようにしてもよい。

試料として、フィルム基材の表面に塗布層を設けたものと、塗布層が設けられていないフィルム基材のみとをそれぞれ測定し、塗布層を設けたものの測定値からフィルム基材のみの測定値を引けば、塗布層のみの水分含有量又は水分含有率を求めることができる。

[0026] また、同様に、試料として、フィルム基材の表面に複数の塗布層を積層したものと、

その複数の塗布層のうちの最上層の塗布層のみが設けられていないものとをそれぞれ測定し、前者の測定値から後者の測定値を引くことにより、最上層の塗布層のみの水分含有量又は水分含有率を求めることができる。

[0027] マイクロ波空洞共振器は、アイリスプレートの穴が管軸上に配置されていることが好ましい。アイリスプレートの穴は、その径が大きくなるとマイクロ波透過強度が大きくなるが、Q値が小さくなる。逆にその径が小さくなるとQ値が大きくなるがマイクロ波透過強度が小さくなる。試料の水分含有量又は含有率を測定する観点から、アイリスプレートの穴径は1ー20mmが適当である。

[0028] アイリスプレートの適当な穴径はマイクロ波の周波数帯によって異なる。例えば、4GHz帯では穴径は10ー13mmが適当であり、その場合のQ₀値(サンプルなしのときのQ値)は6000前後となる。12GHz帯では穴径は3.5ー4.0mmが適当であり、その場合のQ₀値は5400前後となる。また、19GHz帯では穴径は2.2ー2.6mmが適当であり、その場合のQ₀値は4400前後となる。

[0029] マイクロ波空洞共振器の共振器部分の寸法は、共振モードがTE_{10n}(n=1, 2, 3, ...)となる寸法に設定され、試料を配置するスリットは電界ベクトルが最大値となる位置に配置されていることが好ましい。

共振器部分の寸法は測定に使用するマイクロ波の周波数に依存し、例えば5ー30cmが適当である。一例を示すと、マイクロ波周波数が4GHzの場合、TE₁₀₃モードで、ギャップ(試料を配置するスリットの幅)が4mmのときは、共振器部分の適当な寸法は147.2mm、またマイクロ波周波数が12GHzの場合、(TE₁₀₅モードで、ギャップが4mmのとき、共振器部分の適当な寸法は91.6mmである。

[0030] マイクロ波掃引発振器が接続されている導波管とマイクロ波強度受信器が接続されている導波管は、ともに片フランジ付き同軸導波管変換器とすることができます。そのような片フランジ付き同軸導波管変換器として市販されているものを使用することができるので、実現が容易になる。

本発明の測定装置は、マイクロ波空洞共振器のスリットに試料を連続的に供給する試料供給機構をさらに備えて試料を連続的に測定するオンライン測定装置とすることもできる。

[0031] 本発明では、共振ピークレベルの温度依存性を予め測定しておき、試料測定時のマイクロ波空洞共振器、スリット近傍の環境又は試料の温度を検出し、その検出温度により前記温度依存性に基づいて共振ピークレベル測定値を補正するようにすることもできる。

[0032] そのような温度補正を行なうために、本発明の水分量測定装置は、共振ピークレベルの温度依存性を予め測定して記憶しておく温度依存性値記憶部と、試料測定時のマイクロ波空洞共振器、スリット近傍の環境又は試料の温度を検出する温度センサとをさらに備えることができ、データ処理装置は前記温度センサによる検出温度により、前記温度依存性値記憶部に記憶されている温度依存性に基づいて共振ピークレベル測定値を補正する補正手段も備えたものとすることができる。

[0033] オンライン測定装置とした場合、試料とマイクロ波空洞共振器との接触を避けるような対策を施しておくことが好ましい。試料をスリットに導くときにマイクロ波空洞共振器に接触を防ぐための対策として、マイクロ波空洞共振器の導波管のE面外側面でスリット側の端部に試料をスリットに案内する形状のガイドを設けてもよい。

[0034] 試料がスリットを移動中にマイクロ波空洞共振器に接触を防ぐための対策として、スリットの近傍で、スリットを通過する試料の表面と裏面にそれぞれ隙間をもって対向する位置に配置された近接センサと、その近接センサの検出値によりスリットを通過する試料の変動を検出する変動検出部とを備えてもよい。そして、その変動検出部による検出変動幅が予め設定された基準値を越えたときにマイクロ波空洞共振器を試料から遠ざける退避機構をさらに備えてもよい。

発明の効果

[0035] 本発明の測定方法及び装置は、アイスピートを備えたマイクロ波空洞共振器を用い、使用するマイクロ波の測定周波数を1～25GHzにある所定の範囲に設定し、試料がない場合の共振ピークレベルと試料がある場合の共振ピークレベルとの差に基づいて試料の水分含有量又は水分含有率を測定するようにしたので、シート状物質の水分含有量又は水分含有率を、熱源などの外乱の影響を受けにくく、微量水分に対しても測定感度が優れて高精度に測定できるようになった。

[0036] 試料の有無における共振ピークレベルの差を、試料の有無における共振周波数の

差で除した値により、水分含有率を求めることができ、別途試料の厚さを測定しなくても種々の厚さの異なる試料を測定できるようになる。

[0037] また、水分含有量測定装置のなかで、試料が走行中に測定できる、いわゆるオンライン測定装置として実用化されている方法は、赤外線吸収による方法以外はほとんど見当たらない。赤外線吸収による方法は、フィルム状試料の測定は困難であるのに対し、本発明ではフィルム状試料のオンライン測定も可能になった。

発明を実施するための最良の形態

[0038] 一実施例の水分含有量測定装置の概要を図1に、信号の流れを示すための概略構成のブロック図を図6に、タイムチャートを図7に示す。

マイクロ波空洞共振器1に試料10を接触または近づけて走行させ、リアルタイムで共振ピークレベルを測定する。マイクロ波空洞共振器1は図2又は図3に示されたものであり、図1にも概略的に示されているように、導波管の途中に管軸に垂直に、穴の開いた2つのアイリスプレート8a, 8bを備えている。アイリスプレート8a, 8bは導波管の管軸上に1つずつの穴が開けられている。アイリスプレート8a, 8b間が共振器部分4a, 4bとなり、共振器部分4a, 4bを横切るように試料10を配置するスリット12が設けられている。アイリスプレート8a, 8bの外側6a, 6b(図3の場合は16a, 16bも含む。)が進行波部分となっている。一方の進行波部分6aには励磁用アンテナ14aが設けられ、そのアンテナ14aには1~25GHzの間での所定の範囲の周波数で発振させるマイクロ波掃引発振器20が接続されている。他方の進行波部分6bにはアンテナ14bが設けられ、そのアンテナ14bには検波器22と増幅器及びA/D(アナログ/デジタル)変換器24からなるマイクロ波強度受信器が接続されている。

[0039] マイクロ波強度受信器の増幅器及びA/D変換器24はデータ処理装置に接続されている。そのデータ処理装置は増幅器及びA/D変換器24からの信号を受けて共振ピークレベルを検出するピークレベル検出部30と、共振周波数を検出する共振周波数検出部32と、水分含有量又は水分含有率を求める演算部34とを含んでいる。

[0040] 演算部34はスリット12に試料がない場合の共振ピークレベルと試料10がある場合の共振ピークレベルとの差に基づいて試料10の水分含有量又は水分含有率を求め

る。

演算部34はまた、試料の有無における共振ピークレベルの差を、試料の有無における共振周波数の差で除した値から、水分含有率を求めるこどもできる。

- [0041] マイクロ波掃引発振器20から出たマイクロ波は、アイスピート8aの穴を通って共振器部分4a, 4bに導かれ、共振器部分4a, 4bで共振が起こり、そのうちの一部がアイスピート8bの穴を通って他方のアンテナ14bにより伝達され、その共振レベルが検知される。共振器部分4a, 4bのスリット12に試料10を置くか、又は近づけると、試料10の誘電率に応じて共振周波数が変化し、誘電損失率に応じてピークレベルが変化する。
- [0042] アンテナ14bにより検知された共振レベルは、検波ダイオード22によって電圧に変化される。その後、増幅及びA／D変換器24での増幅とA／D変換処理を経て、データ処理装置のピーク検出回路に導かれる。ピーク検出回路では、掃引中に100000個のデータを取り込むと同時に最大値(ピークレベル)と共振周波数を検出する。これを、約50ミリ秒毎に繰り返す。実際の測定では、種々のノイズのためにピークレベルが変動する場合があるので、平均化処理を行うことにより、安定した測定を行うことができる。
- [0043] 図6の構成を実現する一例として、図8に示されるように、空洞共振器1とベクトルネットワークアナライザ40を接続し、 S_{21} モードにおける共振カープのピークレベルを GPIBインターフェースを用いてパーソナルコンピュータ42にデータを送り、リアルタイムで水分を測定することができる。試料10は供給機構により連続して供給することにより、オンライン測定装置となる。
- [0044] このようなオンライン測定装置を用いて、フィルム、紙などのシート状物質試料の水分量を測定する際、空洞共振器が試料から離れた退避位置から試料が空洞共振器のスリットに入った測定位置に移る時に、走行中の試料のバタツキ(面に垂直な方向への変動)や端部のカール(めくれ上がり)のために、試料が空洞共振器内のスリット部分にうまく入らず、導波管部に当たるという問題や、バタツキのために導波管端部に試料が接触し、試料に傷などのダメージを与えるという問題が発生することがある。
- [0045] そこで、このような問題に対する対策として、図9(A), (B)に示されるように、導波

管2のスリット12側の端部に樹脂製のガイド30a, 30bを設けた。これによって、たとえ試料がフラットな形態でなくとも、試料がまずガイド30a, 30bに当たり、さらに導波管2が押し進むとガイド30a, 30bに沿ってスリット12に試料が導かれるようになった。これにより、導波管が退避位置から測定位置に移動する際、試料端部がカールした状態であっても、スムーズにスリットの中にガイドすることができるようになった。また、走行しているシート状試料がばたついている場合でも、ガイドによってうまく案内でき、スリット内に試料がセットできるようになった。

[0046] このガイド30a, 30bに用いる樹脂としては、マイクロ波が反射しにくいようにするために、ポリエチレンなど、できるだけ誘電率の小さい樹脂が望ましい。

また、ガイド30a, 30bを取り付ける位置としては、導波管先端部にガイドの先端部を揃えるのが好ましいため、ガイド30a, 30bをつけたことによってQ値や共振ピークレベルが減少しないように配慮する必要がある。実験の結果、図9(B)のようにH面ではなく、図9(A)のようにE面に取り付けるのが望ましいことがわかった。E面とは導波管内部の電界と平行な面のことをいい、H面とは磁界に平行な面をいう。この結果は、理論的にも説明される。

[0047] 矩形導波管を用いたTE₁₀₃モードの場合の空洞共振器内部の電磁界分布を図10(B)～(D)に示す。図10(A)は空洞共振器をZ軸に垂直な方向に切断して示す斜視断面図で、E面、H面とX, Y, Z各方向を示している。図10(B)はZ軸に垂直に切断した状態、(C)はX軸に垂直に切断した状態、(D)はY軸に垂直に切断した状態をそれぞれ表わしており、Eyは電界、Hx, Hzは磁界である。端部には電界(Ey)と磁界(Hx, Hz)が図のように分布しており、H面に樹脂を取り付けた場合は、内部の電界強度が強く(横方向の中心部で最大)、一部は外部に漏れているため、この漏れ電界と樹脂との相互作用により共振状態を乱し、吸収又は反射が起こり、結果的にピークレベルの低下又はQ値の低下が起こるためである。樹脂製のガイドをE面に取りつけた場合と、H面に取りつけた場合を、何も取りつけなかった場合と比較すると、表1のような結果になった。

[表1]

	E面に取付けた場合	H面に取付けた場合	ガイドなしの場合
Q値	2738	1473	2745
ピークレベル	-29.73 dB	-34.25 dB	-29.58 dB
共振周波数	12.49180 GHz	12.49000 GHz	12.49200 GHz

この結果から、ガイドはH面に取りつけるよりE面に取りつけた方がQ値及びピークレベルの減少が小さいことが明らかである。

[0048] また、試料の状態や走行速度によっては、試料が変動し、空洞共振器1のスリット12内で空洞共振器1を形成する導波管部に接触する問題については、図11のように、導波管部に試料を挟む形で試料との距離を測定する距離センサ32を2個設け、ある基準値以上のバタツキ変動があった場合、速やかに測定ヘッド部を退避位置まで後退する機構を設けた。この例では空洞共振器1はアーム34, 36に支持され、アーム36はスライドレール38に沿って図に示される退避位置と、試料をスリット12に挟む測定位置の間を移動可能に支持されている。

[0049] 測定システム全体の概略を図12に示す。(A)は退避位置、(B)は測定位置である。一対の導波管で構成される空洞共振器1が測定ヘッドに該当し、これがアーム34, 36で支えられ、このアーム36がスライド機構により、ヘッドが測定位置(B)と退避位置(A)を交互に動けるようにした。

さらにこの機構を発展させて、ヘッドの測定位置を試料の幅方向の全域に渡って移動可能のようにアーム34、36を設計することができる。このようにすれば試料の幅方向にわたる水分量の位置的な分布をも測定できる。

[0050] 距離センサ32の信号を受ける回路は、常に基準レベルと測定距離とを比較してデジタル信号を出せるようにした。アーム36を移動させる機構の電磁弁は、基準値以上に試料のバタツキが大きい場合にその回路からの信号を受けてオンになり、エアーの力によってアーム36をスライドレール38上を移動させて退避位置まで高速で戻るようにした。

[0051] 今まで試料のバタツキによって導波管部に試料が接触して傷などのダメージを受けていたが、この方法により、ほとんど傷が付かなくなり、安定して水分量測定できるようになった。

空洞共振器1のピークレベルは例えばネットワークアナライザ40によってリアルタイムで測定できるように2本の同軸ケーブルで接続されており、ネットワークアナライザ40からコンピュータに測定値がリアルタイムで取り込まれる。

[0052] オンライン測定の際には、ほこり、塵等が空洞共振器の導波管部分の先端部や内部に付着して測定に悪影響を及ぼすおそれがある。このような付着を防ぐためにアーム34、36に空気配管、ノズル等を取り付け測定前後に定期的に導波管部分の先端部から内部に向けて空気を吹き付けることが好ましい。ノズルは導波管から少し離して設置するほうが測定に影響を与えるおそれが小さいのでより好ましい。

[0053] 共振ピークレベルは温度により変化する。そのため、温度変化を補正することが好ましい。そこで、図13に示されるように、温度依存性を予め測定して記憶しておく温度依存性値記憶部42と、試料測定時のマイクロ波空洞共振器、スリット近傍の環境又は試料の温度を検出する温度センサ40とをさらに備えることが好ましい。そして、データ処理装置44には、温度センサ40による検出温度により、温度依存性値記憶部42に記憶されている温度依存性に基づいて共振ピークレベル測定値を補正する補正手段46も備えておくのが好ましい。

実施例 1

[0054] 厚さ t が既知で一定である試料の測定について、図14に示されるフローチャートを用いて説明する。

ステップ1で試料のない状態(ブランク)について共振ピークレベル P_0 を測定しておく。

つぎに、ステップ2で試料の共振ピークレベル P_s を測定する。

[0055] ステップ3では両者の差 $\Delta P (= P_0 - P_s)$ を計算する。この ΔP は、試料の誘電損失率 ϵ'' と、試料の厚さ t を掛け合わせた値 $\epsilon'' \cdot t$ に比例するものである。そこで、あらかじめ同じ厚さ t の試料について、水分率と ΔP の関係を検量線として求めておけば、ステップ3で求められる ΔP の値から、水分率が得られることになる。そこで、例えば、試料を絶対湿度が異なる3条件以上の環境で調湿し、それぞれの条件下での水分率(重量%)及び ΔP の値を測定することで、両者の関係を表わす検量線を作つておく。

ステップ4では、ステップ3で求めた ΔP の値を前述の検量線に当てはめて水分率を求めるものである。オンライン測定の場合、一定時間ごとにステップ2～4を繰り返せば良い。

[0056] 実施例1-1～実施例1-3及び比較例1、2では、共振周波数が1～30GHzの範囲で異なる5種の空洞共振器を用いて試料(塗工層を1層含む塗工フィルム)を測定した。結果を表2に示す。

[表2]

	導波管の 共振周波数	ピークレベル(dB)		コーナーへの 設置可否
		試料あり	プランク	
実施例 1- 1	4 GHz	-11.50	-7.78	○
実施例 1- 2	12 GHz	-36.01	-33.64	○
実施例 1- 3	19 GHz	-53.21	-52.02	○
比較例 1	0.5 GHz	測定不可		×
比較例 2	30 GHz	-68.23	-68.21	○

[0057] この結果によれば、共振周波数が30GHzの場合は何らかの測定自体は可能ではあるが、本周波数以上では共振器の寸法が小さくなるために測定面積が小さくなり、結果的に測定感度が低下したり、より波長が短くなるために一対の共振器が平行に向き合うようを行う芯出し調整が難しくなったり、発振器の価格が高価となったりするなどの理由で実用的ではない。また、0.5GHz以下の周波数では共振器の寸法が数十cmを超えて大きくなり、また更に水の誘電損失率もかなり小さくなるので、やはり実用的な測定は困難となる。適当な測定周波数範囲は1～25GHzである。

実施例 2

[0058] 厚さが一定でない試料の測定方法について、図15のフローチャートを用いて説明する。

ステップ1で試料のない状態(プランク)について共振ピークレベル P_0 及び共振周波数 F_0 を測定しておく。

つぎに、ステップ2として、試料の共振ピークレベル P_s 及び共振周波数 F_s を測定する。

ステップ3で、プランクと試料のピークレベルの差 $\Delta P (=P_0 - P_s)$ を計算する。

[0059] ステップ4で、ブランクと試料の共振周波数の差 ΔF を計算する。

空洞共振器においては、誘電率 ϵ' が以下の(1)式で表わせる。

$$\epsilon' - 1 = K1 \times \Delta F / t \quad (1)$$

一方、前述の通り、 ΔP は $\epsilon'' \cdot t$ に比例することから、(2)式で表わせる。

$$\epsilon'' = K2 \times \Delta P / t \quad (2)$$

ここで、K1及びK2はそれぞれ装置定数である。

[0060] (1)、(2)式からtを消去すると、以下の(3)式が得られる。

$$\epsilon'' = K2 / K1 \cdot (\epsilon' - 1) \times (\Delta P / \Delta F) \quad (3)$$

誘電率 ϵ' が一定であれば、(3)式は(4)式で表わせる。

$$\epsilon'' = K3 \times (\Delta P / \Delta F) \quad (4)$$

ここで、K3は定数である。

[0061] すなわち ϵ'' は、試料のフィルムに対して水分が微量であるような場合、すなわち ϵ' が一定であるならば、試料の厚さ t に関わらず $\Delta P / \Delta F$ に比例する。

よって、ステップ5で求める $\Delta P / \Delta F$ は水分含有率に相關した値となる。ここで、実施例1と同様にあらかじめ検量線を作つておけば、これにより $\Delta P / \Delta F$ から水分含有率が求められる(ステップ6)。

実施例 3

[0062] 塗工フィルムなどのように、フィルムを基材として、フィルム上的一方の面又は両面に、1層もしくは多層の塗布層を設けた試料について各層の水分含有率を求める方法について以下に述べる。

[0063] (塗布層の $\Delta \epsilon''$ の測定)

PETフィルムに第1塗布層を設けた試料、及び未塗布のPETフィルムについて、常温常湿下で調湿し、水分が平衡状態に達した状態での誘電損失率 ϵ''_{wet} を分子配向計で求める。第1塗布層を設けた試料と、未塗布フィルムの誘電損失率の関係から、第1塗布層のみの常温常湿状態での誘電損失率 $\epsilon''_{\text{第1塗布層wet}}$ が求められる。次に、十分に水分を除去した状態での誘電損失率 ϵ''_{dry} を分子配向計で求め、同様に、水分を除去した状態での誘電損失率 $\epsilon''_{\text{第1塗布層dry}}$ が求められる。ここで、この両者の差 $\Delta \epsilon''_{\text{第1塗布層}}$ は、第1塗布層の単位体積当たりの水分含有量(すなわち水分

含有率)に相当する。

同様にすると、第2、3、…塗布層の誘電損失率 $\Delta \epsilon''_{\text{第2塗布層}}$ 、 $\Delta \epsilon''_{\text{第3塗布層}}$ 、…が求められる。これらの値は、測定した常温常湿の条件での固有の物性値である。

[0064] (厚さの測定)

基材フィルムの厚さ t_{base} と各塗布層の厚さ $t_{\text{第1塗布層}}$ 、 $t_{\text{第2塗布層}}$ 、 $t_{\text{第3塗布層}}$ 、…、及び総厚さ t_{total} を、厚さ計、塗工量などから求めておく。

[0065] (各塗布層の水分率の計算)

測定の手順について、図16のフローチャートを用いて説明する。

ステップ1で、試料のない状態(プランク)について共振ピークレベル P_0 を測定しておく。

ステップ2で、1層又は複数の層を塗布した塗工フィルムからなる試料の共振ピークレベル P_s を測定する。

[0066] ステップ3では両者の差 $\Delta P_{\text{total}} (=P_0 - P_s)$ を計算する。

ここで、塗工フィルム全体に含まれる総水分量に対する、基材フィルム及び各塗布層に含まれる水分量の分配率を考える。各塗布層間で水分が平衡状態に達したときの総水分量を W で表わすと、各層の $\Delta \epsilon''$ と厚さ t を用いて(5)式のように表わせる。

$$W = \Delta \epsilon''_{\text{base}} \cdot t_{\text{base}} + \Delta \epsilon''_{\text{第1塗布層}} \cdot t_{\text{第1塗布層}} + \Delta \epsilon''_{\text{第2塗布層}} \cdot t_{\text{第2塗布層}} + \Delta \epsilon''_{\text{第3塗布層}} \cdot t_{\text{第3塗布層}} + \dots \quad (5)$$

よって、各層のへの分配率 R_x は(6)式で表わせる。

$$R_x = \Delta \epsilon''_x \cdot t_x / W \quad (6)$$

ここで、Xは基材フィルム又は各塗布層のいずれかを表す。

[0067] 以上のような手順で、ステップ4では、各層の $\Delta \epsilon''$ と厚さ t から各層の水分分配率を求める。

さらに、 ΔP_{total} は塗工フィルムの総水分含有量に比例しているため、各層の水分含有量は以下の(7)式より求められる ΔP_x に比例した値となる(ステップ5)。

$$\Delta P_x = \Delta P_{\text{total}} \times R_x \quad (7)$$

よって、 $\Delta P_x / t_x$ は各層の水分含有率に相關した値となる(ステップ6)。

オンライン測定の場合、一定時間ごとにステップ2-6を繰り返せばよい。

実施例 4

[0068] 以下に、温度補正を行うときの測定手順を記す。

(プランク時の温度補正)

マイクロ波空洞共振器を温湿度制御のできる室内に設置し、室内を任意の環境に合わせる。十分な時間が経過した後、プランク状態(試料を用いない)で測定をおこなう。次に、絶対湿度が変わらないように維持しながら、温度を5°C上昇させる。十分な時間が経過した後、再びプランク状態で測定を行う。同様にして、さらに温度を5°C及び10°C上昇させたときのプランク値を測定する。図17は最初の温度を15°Cとし、その後5°Cずつ温度を上昇させたときのプランク値の変動を示したグラフである。なお、ここでは絶対湿度を9.0g/m³で一定としている。このグラフを最小二乗法により二次近似すると、二次式 $y = a_0 x^2 + b_0 x + c_0$ の形で表わすことができる。ここで、 a_0 および b_0 は温度補正を行う係数となり、温度補正を行う補正式は以下の(8)式により表わせる。なお、この式で求められるのは、基準温度X(°C)に換算したときのピークレベル(補正後のピークレベル)である。

$$P'_0 = P_0 + a_0 \times (X - T_0)^2 + b_0 \times (X - T_0) \quad (8)$$

ここで、 P'_0 は補正後のピークレベル、 P_0 は補正前のピークレベル、Xは基準温度、 T_0 は導波管温度、 a_0 および b_0 はプランク測定時の補正係数である。

[0069] (測定時の温度補正)

同様の環境条件にて、測定対象となる試料の共振ピークレベル P_s および導波管温度 T_s を求める。図17と同様にして書いた図18のグラフの傾きから、試料測定時の補正係数 a_s 及び b_s を求める。よって、試料測定時の温度補正を行う補正式は以下の(9)式で表わせる。なお、この式で求められるのは、基準温度X(°C)に換算したときのピークレベル(補正後のピークレベル)である。

$$P'_s = P_s + a_s \times (X - T_s)^2 + b_s \times (X - T_s) \quad (9)$$

ここで、 P'_s は補正後のピークレベル、 P_s は補正前のピークレベル、Xは基準温度、 T_s は導波管温度である。

[0070] (ΔPの計算)

ピークレベルの差 ΔP は前述の通り、 $\Delta P = P'_0 - P'_s$ であるが、同様に温度補正を行

った $\Delta P'$ は、 $\Delta P' = P_0' - P_s'$ で表わせる。

この補正の利点は、夏場と冬場と言った著しく温度が異なるような状況に対しても、ある基準温度を決めることで、その基準温度での値として比較することができる。また、プランク測定を行った後、連続してオンライン測定を行う場合などに特に有効である。つまり、プランク測定を行った時の導波管温度に対し、試料をオンラインで測定する途中で徐々に導波管温度が上昇もしくは下降する場合でも、新たにプランク時のピークレベルを測定することなく、そのときの導波管温度を求めることで(8)式より基準温度でのピークレベルを計算することができ、同時に試料測定時のピークレベルも導波管温度を求めるで(9)式より基準温度でのピークレベルを計算することができる。ここで、あらかじめ導波管を逐次測定する手段を設けておき(例えば、熱電対を導波管側面に貼り付けておく)、さらに上記の計算を行うプログラムをコンピュータ上に組んでおけば、オンライン測定時に瞬時に任意の基準温度での ΔP の値が測定できるのである。導波管温度の他にスリット付近の温度や試料の温度を測定することもできる。試料の温度などは非接触の温度検出器を使用して測定することが好ましい。

またオンラインで水分量を測定した場合は、その結果を利用して、塗布層形成用の塗液の水分量を調整することや、塗布層の乾燥条件、例えばドライヤの乾燥温度、風量等の調整にフィードバックして制御することができる。

[0071] 図19は続けてオンライン測定した14個の同種試料(試料番号は横軸にロール番号(通し番号)として示されている。)についての導波管温度と温度補正前後の ΔP 値を示したものである。温度補正により ΔP 値がほぼ一定値の範囲内に入っており、温度補正の効果が明らかに現れている。

産業上の利用可能性

[0072] 本発明は、塗工フィルムなどのようにフィルムを基材としてフィルム上に塗布層を設けたシート状物質の水分含有量又は水分含有率を測定することができ、印刷工程における塗布層の乾燥状態の測定などに利用することができる。しかも、オンライン化も容易であるので、印刷工程などの工程管理にも利用することができる。

図面の簡単な説明

[0073] [図1]一実施例の水分含有量測定装置を示す概略構成図である。

[図2]本発明で用いるマイクロ波空洞共振器の第1の例を示す概略構成図である。

[図3]本発明で用いるマイクロ波空洞共振器の第2の例を示す概略構成図である。

[図4]マイクロ波空洞共振器の共振により得られる共振カーブを示すグラフである。

[図5]マイクロ波空洞共振器の共振の原理を説明する等価回路図と共振カーブを示す図である。

[図6]同実施例の構成を示すブロック図である。

[図7]同実施例の動作を示すタイムチャート図である。

[図8]オンライン型の水分含有量測定装置の一実施例を示す概略構成図である。

[図9](A), (B)は導波管のスリット側の端部にガイドを設けた状態を示す斜視図である。

[図10](A)は矩形導波管の斜視断面図、(B)から(D)はTE₁₀₃モードの場合の空洞共振器内部の電磁界分布を示す図で、(B)はXY面断面、(C)はYZ面断面、(D)はXZ面断面をそれぞれ示す。

[図11]空洞共振器1が移動できる形態を示す正面図である。

[図12]同形態の測定システム全体を示す概略図で、(A)は退避位置、(B)は測定位を示す。

[図13]温度補正を行なう部分を示すブロックである。

[図14]実施例における動作の一例を示すフローチャート図である。

[図15]実施例における動作の他の例を示すフローチャート図である。

[図16]実施例における動作のさらに他の例を示すフローチャート図である。

[図17]プランク状態での の温度依存性を示すグラフである。

[図18]試料測定時の の温度依存性を示すグラフである。

[図19]温度補正の結果を示すグラフである。

符号の説明

[0074] 1 空洞共振器
2A, 2B 導波管
4a, 4b 導波管の共振器部分
6a, 6b, 16a, 16b 導波管部分の進行波部分

8a, 8b アイリスプレート

10 試料

12 スリット

14a, 14b アンテナ

20 マイクロ波掃引発振器

22 検波器

24 増幅・A／D変換器

30 ピークレベル検出部

32 共振周波数検出部

34 演算部

40 温度センサ

42 温度依存性値記憶部

44 データ処理部

46 補正手段

請求の範囲

[1] 導波管の途中に管軸に垂直に、穴の開いた2つのアイリスプレートを備え、アイリスプレート間が共振器部分となり、アイリスプレートの外側が進行波部分となっているとともに、前記共振器部分を横切るように試料を配置するスリットを設けたマイクロ波空洞共振器を用い、
測定周波数を1～25GHzの間で所定の範囲に設定し、
前記スリットに試料がない場合の共振ピークレベルと試料がある場合の共振ピークレベルとの差に基づいて試料の水分含有量又は水分含有率を測定する水分量測定方法。

[2] 試料の有無における共振ピークレベルの差を、試料の有無における共振周波数の差で除した値から、試料の水分含有率を求める請求項1に記載の水分量測定方法。

[3] 試料として、フィルム基材の表面に塗布層を設けたものと、塗布層が設けられていないフィルム基材のみとをそれぞれ測定し、塗布層を設けたものの測定値からフィルム基材のみの測定値を引いて塗布層のみの水分含有量又は水分含有率を求める請求項1に記載の水分量測定方法。

[4] 試料として、フィルム基材の表面に複数の塗布層を積層したものと、前記複数の塗布層のうちの最上層の塗布層のみが設けられていないものとをそれぞれ測定し、前者の測定値から後者の測定値を引いて最上層の塗布層のみの水分含有量又は水分含有率を求める請求項1に記載の水分量測定方法。

[5] 共振ピークレベルの温度依存性を予め測定しておき、試料測定時の前記マイクロ波空洞共振器、前記スリット近傍の環境又は試料の温度を検出し、その検出温度により前記温度依存性に基づいて共振ピークレベル測定値を補正する請求項1から4のいずれかに記載の水分量測定方法。

[6] 導波管の途中に管軸に垂直に、穴の開いた2つのアイリスプレートを備え、アイリスプレート間が共振器部分となり、アイリスプレートの外側が進行波部分となっているとともに、前記共振器部分を横切るように試料を配置するスリットを設けたマイクロ波空洞共振器と、
前記一対の進行波部分の一方に接続され、1～25GHzの間での所定の範囲の周

波数で発振させるマイクロ波掃引発振器と、

前記一対の進行波部分の他方に接続されたマイクロ波強度受信器と、

前記マイクロ波強度受信器からの信号を受けてピークレベル検出し、前記スリットに試料がない場合の共振ピークレベルと試料がある場合の共振ピークレベルとの差に基づいて試料の水分含有量又は水分含有率を求めるデータ処理装置とを備えた水分量測定装置。

- [7] 前記マイクロ波空洞共振器は、アイリスプレートの前記穴が管軸上に配置され、その径が1.0～20mmである請求項6に記載の水分量測定装置。
- [8] 前記マイクロ波空洞共振器の共振器部分の寸法は、共振モードが TE_{10n} ($n=1, 2, 3, \dots$)となる寸法に設定され、前記スリットは電界ベクトルが最大値となる位置に配置されている請求項6に記載の水分量測定装置。
- [9] 前記マイクロ波空洞共振器の一対の進行波部分の一方は一方のアイリスプレートに隣接する導波管部分とこの導波管部分につながり前記マイクロ波掃引発振器が接続されている導波管部分とからなり、
前記一対の進行波部分の他方は他方のアイリスプレートに隣接する導波管部分とこの導波管部分につながり前記マイクロ波強度受信器が接続されている導波管部分とからなっている請求項6から8のいずれかに記載の水分量測定装置。
- [10] マイクロ波掃引発振器が接続されている導波管とマイクロ波強度受信器が接続されている導波管は、ともに片フランジ付き同軸導波管変換器である請求項6から9のいずれかに記載の水分量測定装置。
- [11] 前記データ処理装置は前記マイクロ波強度受信器からの信号を受けてさらに共振周波数も検出し、試料の有無における共振ピークレベルの差を試料の有無における共振周波数の差で除した値から試料の水分含有率を求めるものである請求項6から10のいずれかに記載の水分量測定装置。
- [12] 前記マイクロ波空洞共振器のスリットに試料を連続的に供給する試料供給機構をさらに備え、
前記データ処理装置は前記スリットに試料がないときの共振ピークレベル値又はさらに共振周波数値を記憶しておく記憶部を備え、前記スリットに試料があるときの測

定値と前記記憶部に記憶されている、試料がないときの値とを用いて試料の水分含有量又は水分含有率を求めるものであり、

試料を連続的に測定するオンライン測定装置とした請求項6から11のいずれかに記載の水分量測定装置。

[13] 共振ピークレベルの温度依存性を予め測定して記憶しておく温度依存性値記憶部と、

試料測定時の前記マイクロ波空洞共振器、前記スリット近傍の環境又は試料の温度を検出する温度センサと、をさらに備え、

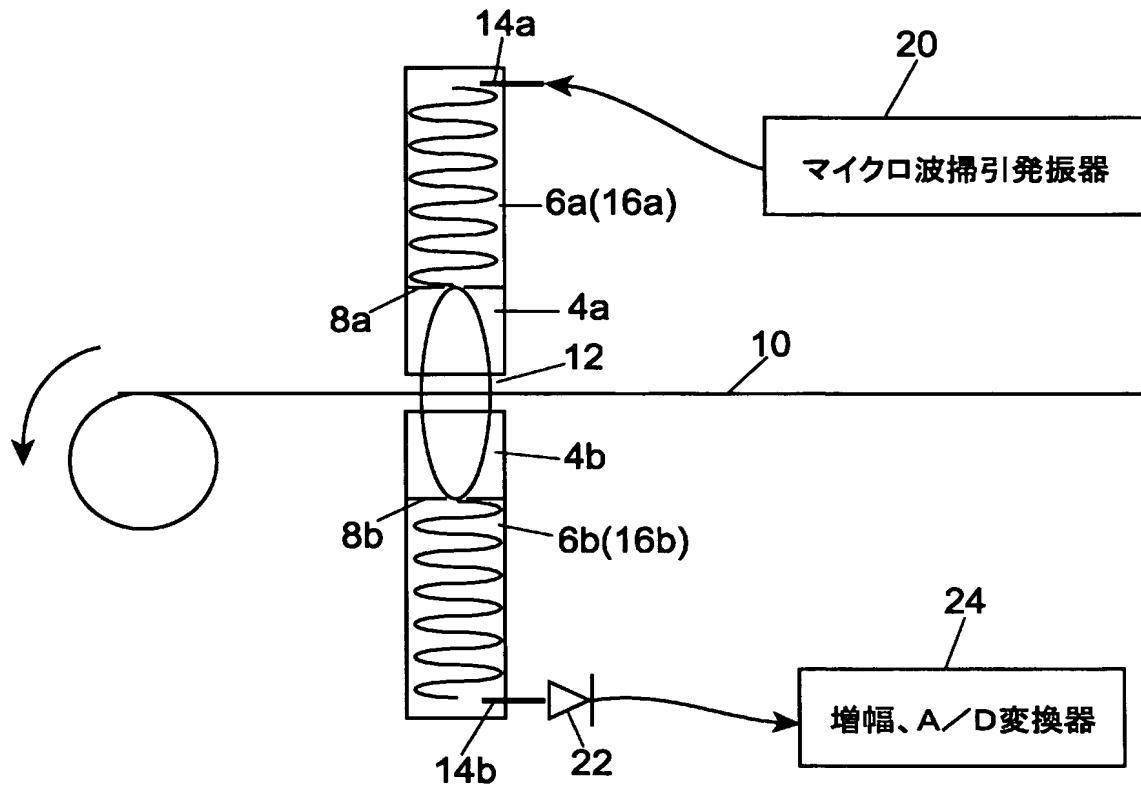
前記データ処理装置は前記温度センサによる検出温度により、前記温度依存性値記憶部に記憶されている温度依存性に基づいて共振ピークレベル測定値を補正する補正手段も備えている請求項12に記載の水分量測定装置。

[14] 前記マイクロ波空洞共振器のE面外側面でスリット側の端部に試料をスリットに案内する形状のガイドを設けた請求項12又は13に記載の水分量測定装置。

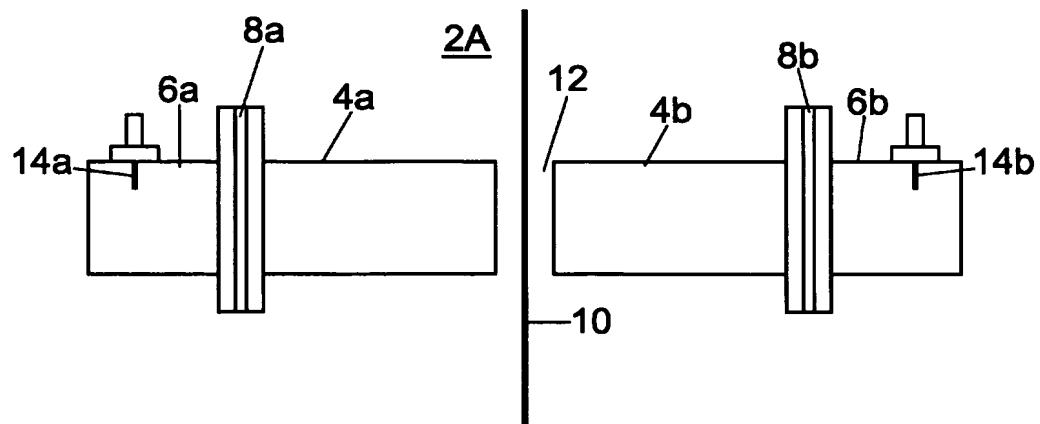
[15] 前記スリットの近傍で、スリットを通過する試料の表面と裏面にそれぞれ隙間をもつて対向する位置に配置された近接センサと、該近接センサの検出値によりスリットを通過する試料の変動を検出する変動検出部とをさらに備えた請求項12から14のいずれかに記載の水分量測定装置。

[16] 前記変動検出部による検出変動幅が予め設定された基準値を越えたときに前記マイクロ波空洞共振器を試料から遠ざける退避機構をさらに備えた請求項15に記載の水分量測定装置。

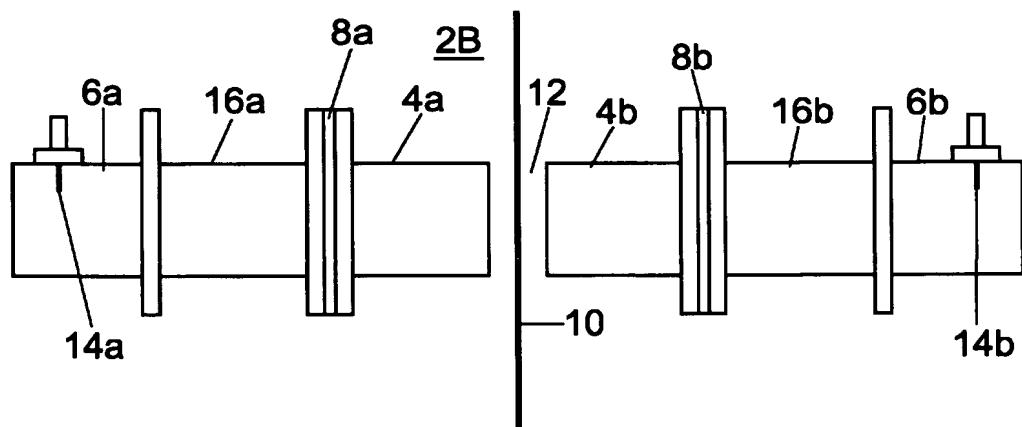
[図1]



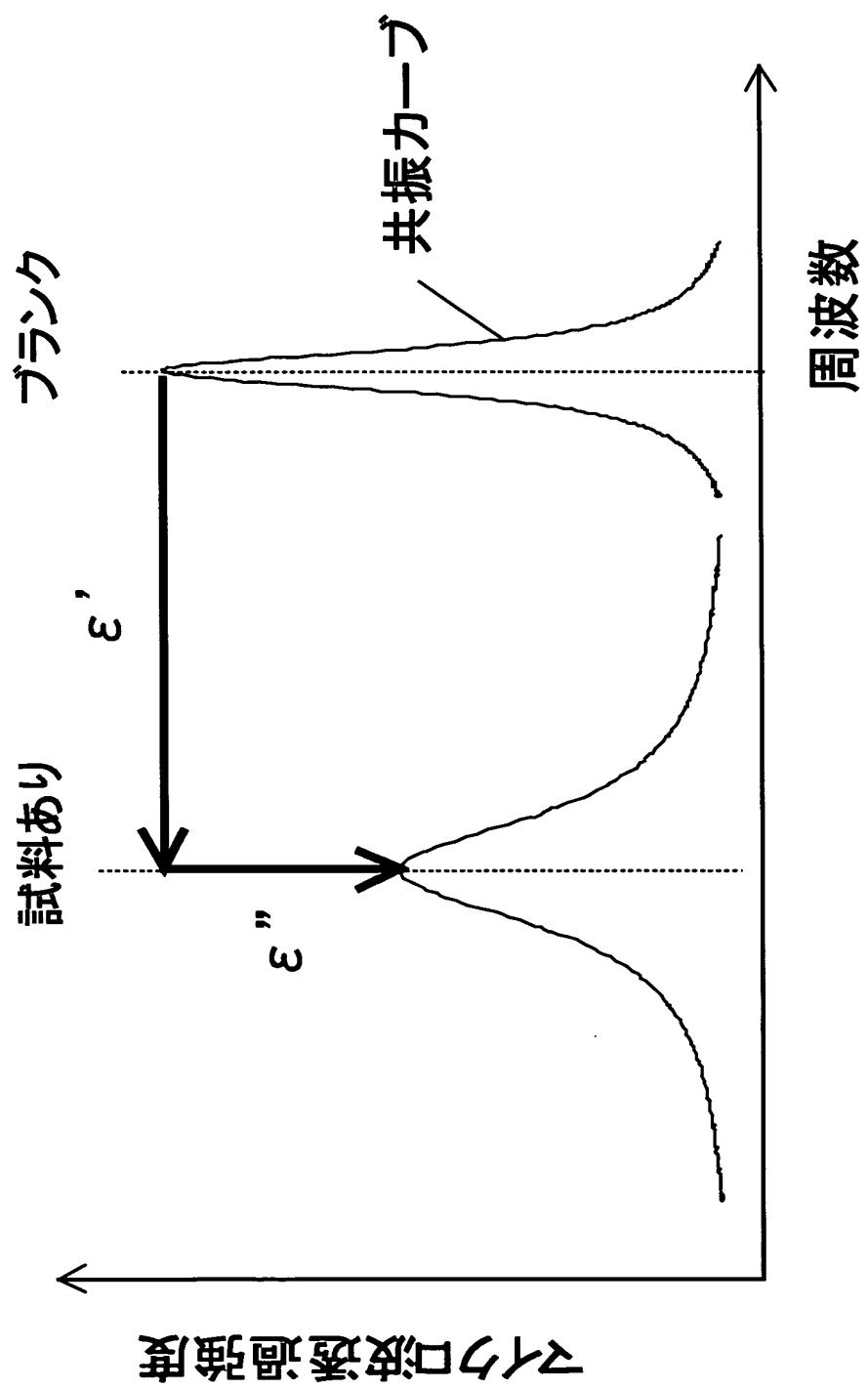
[図2]



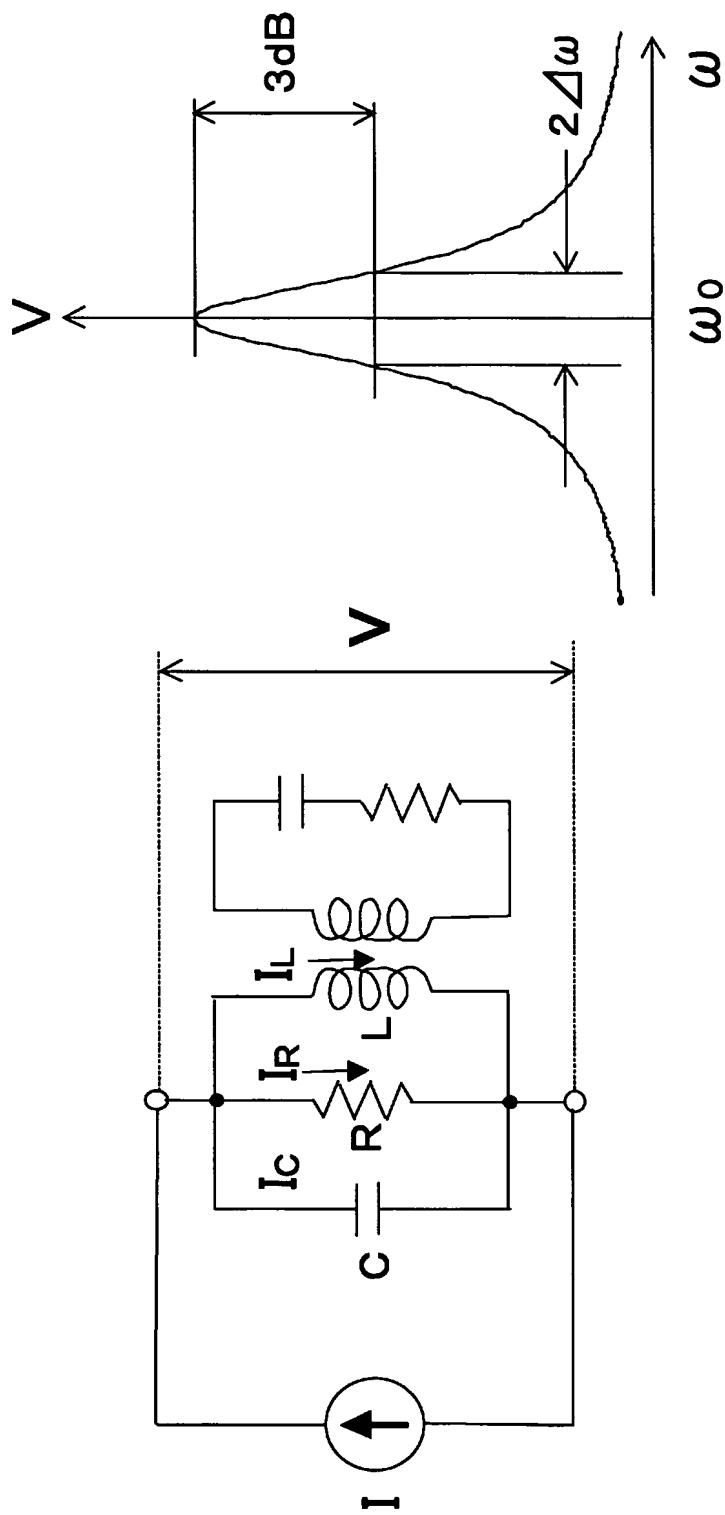
[図3]



[図4]



[図5]



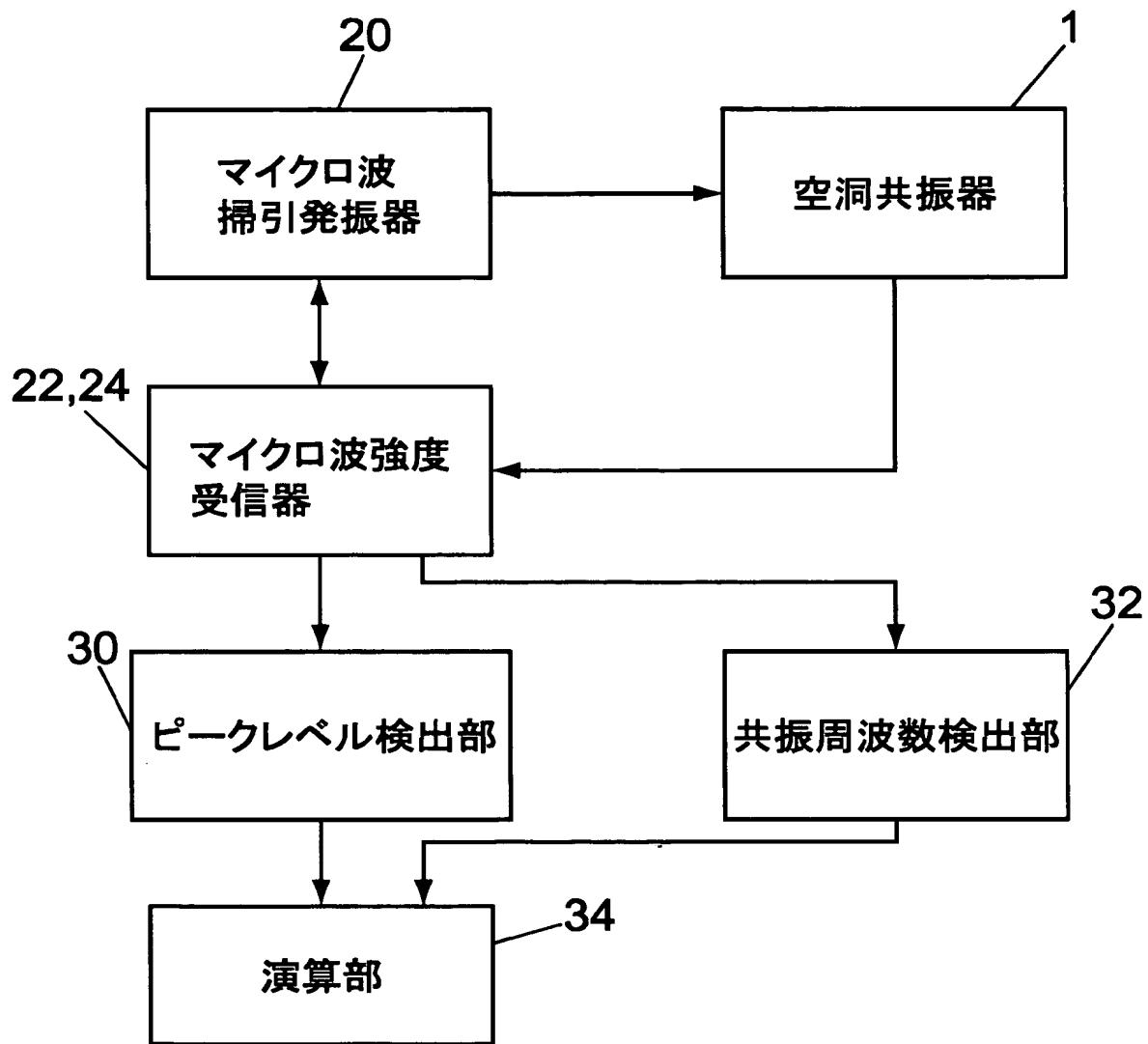
$$Q = R/\omega_0 L$$

$$\omega_0 L = 1/\omega_0 C$$

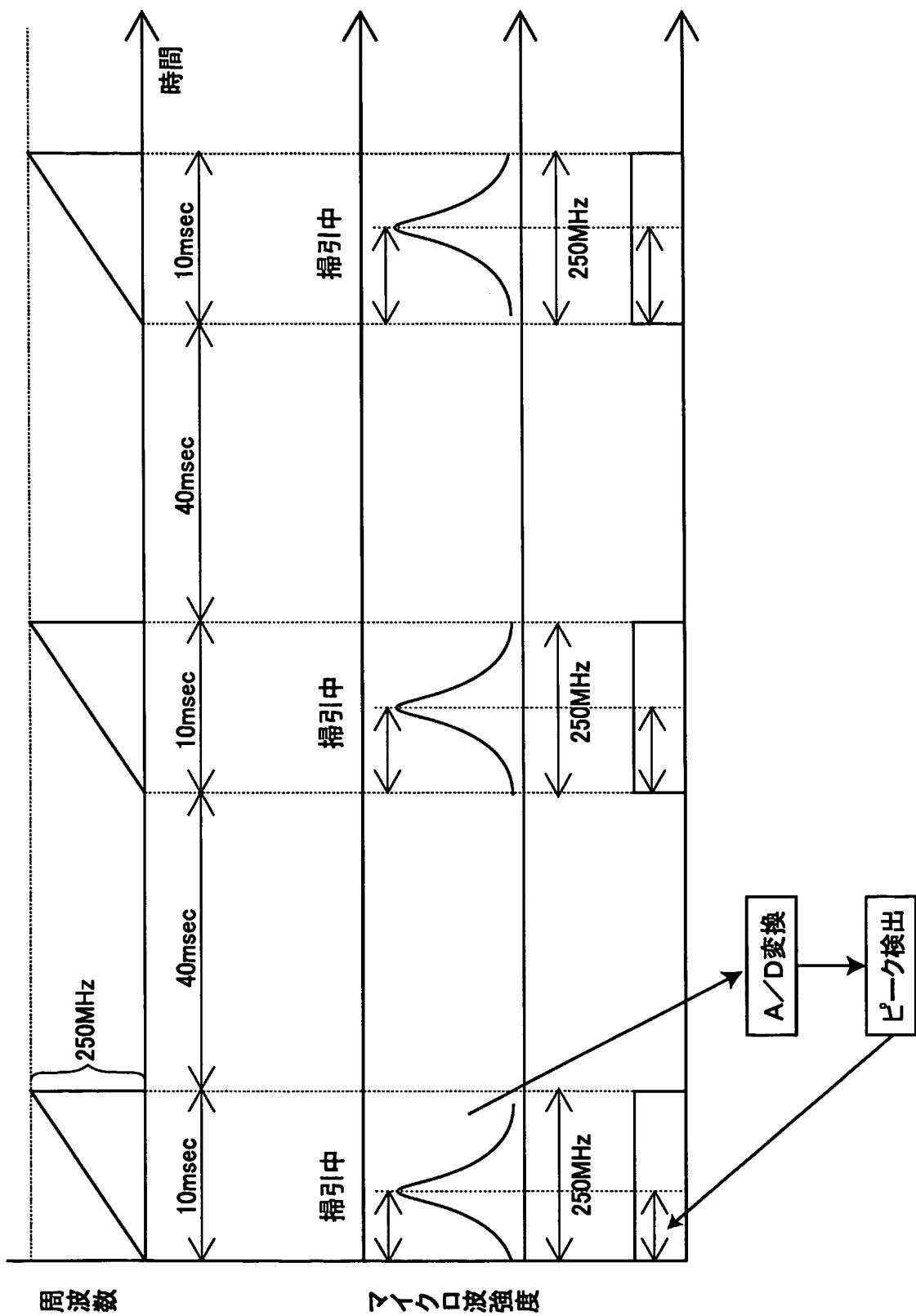
ω_0 = 共振角周波数

$$Q = \omega_0 / 2\Delta\omega$$

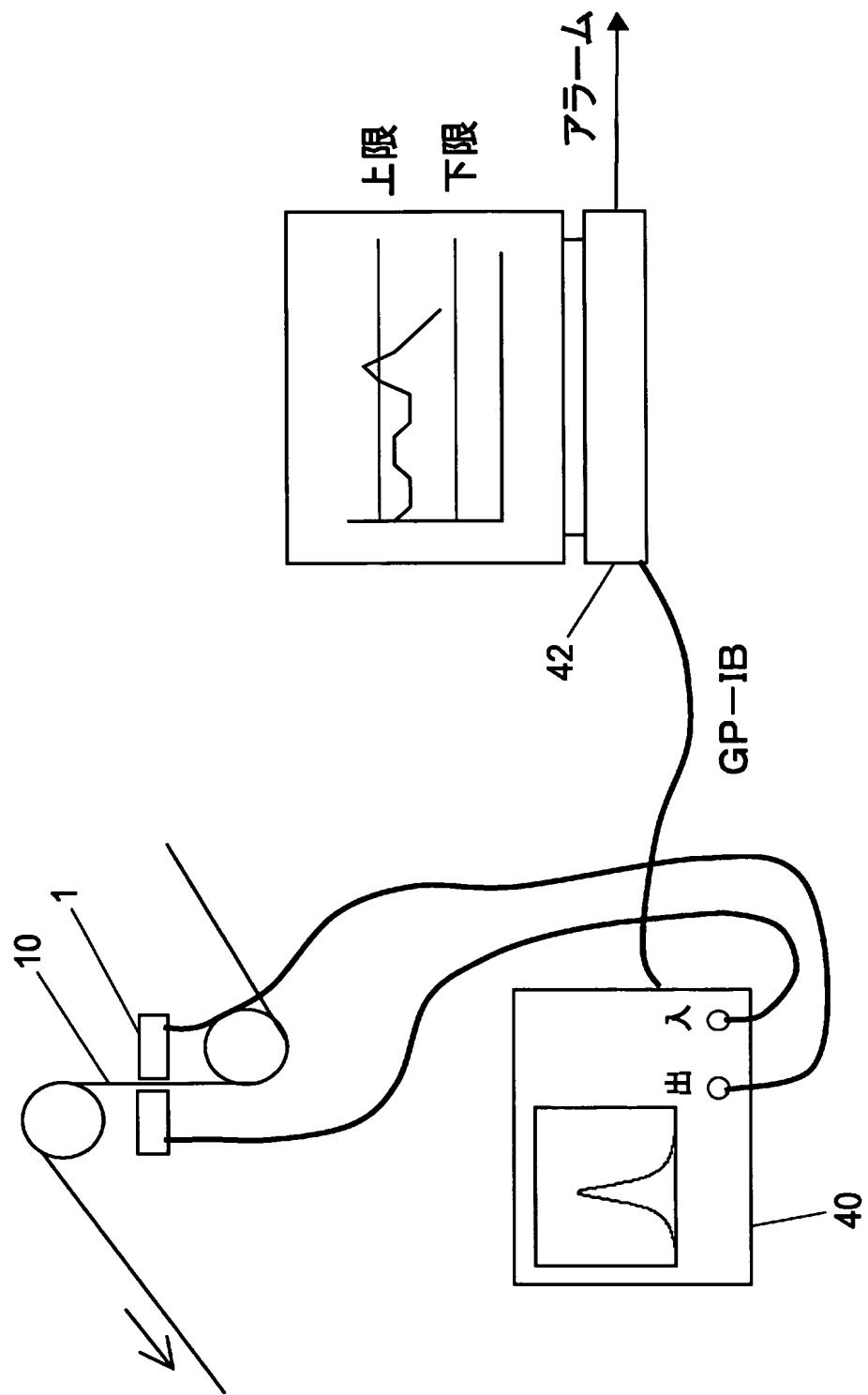
[図6]



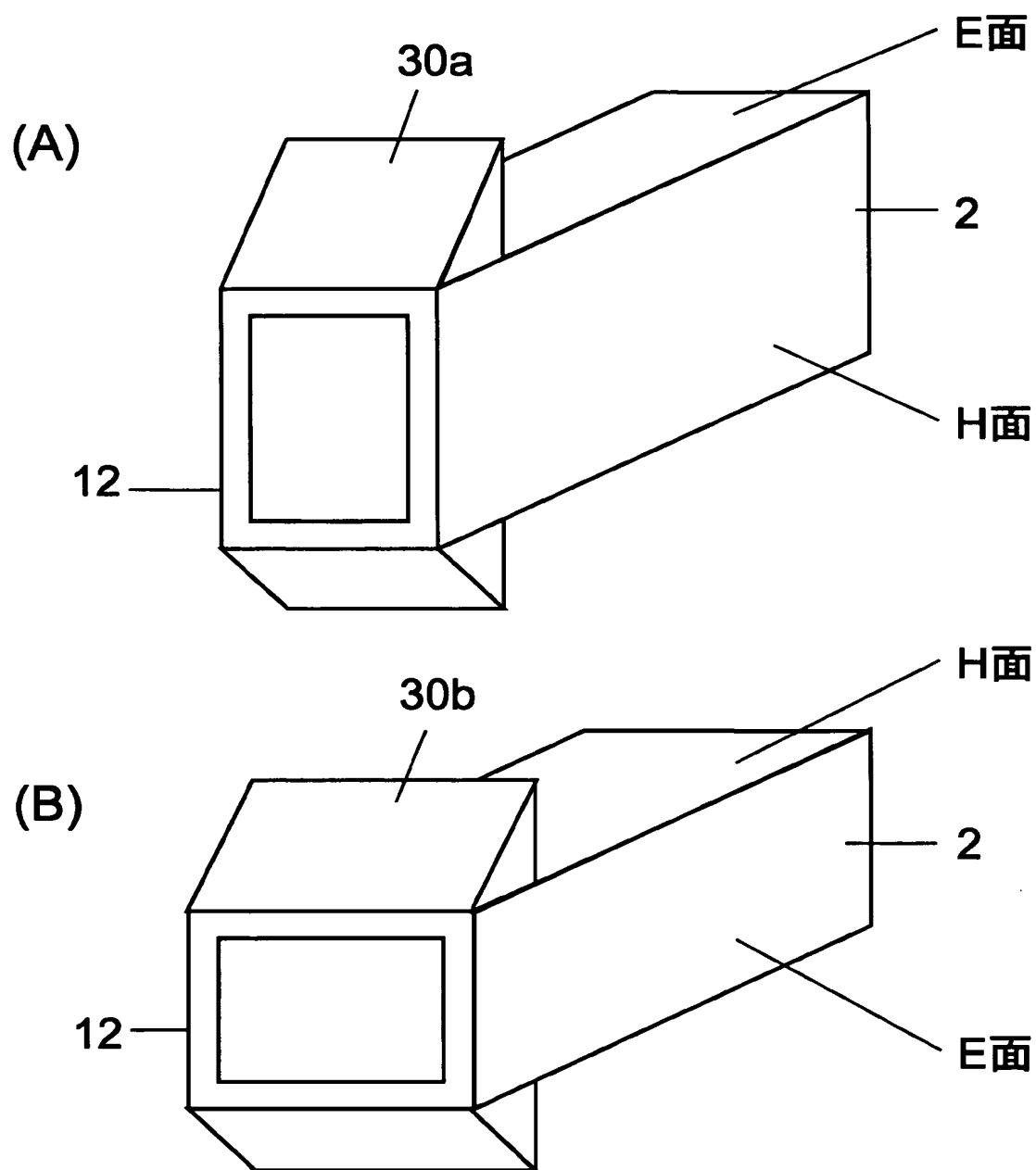
[図7]



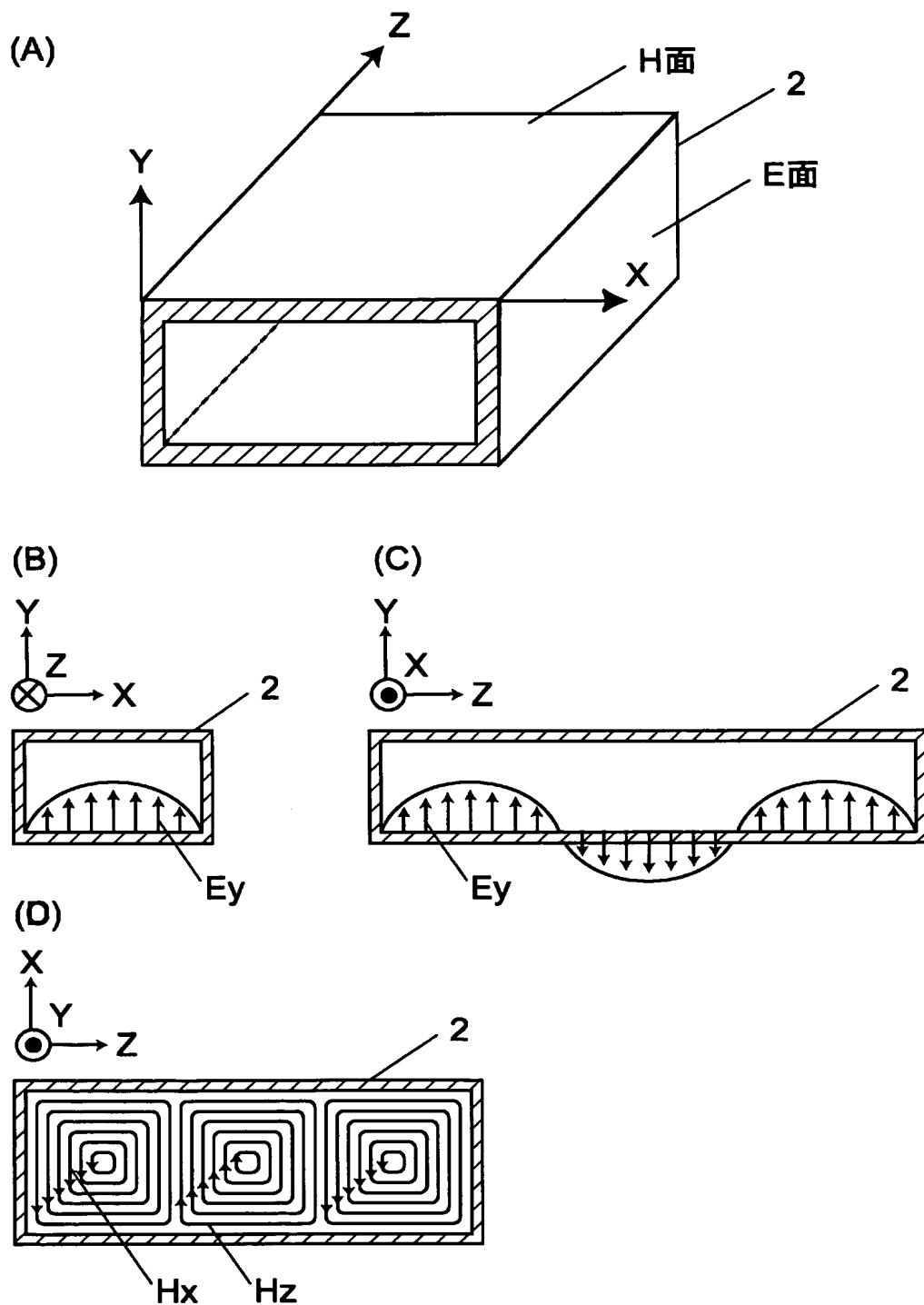
[図8]



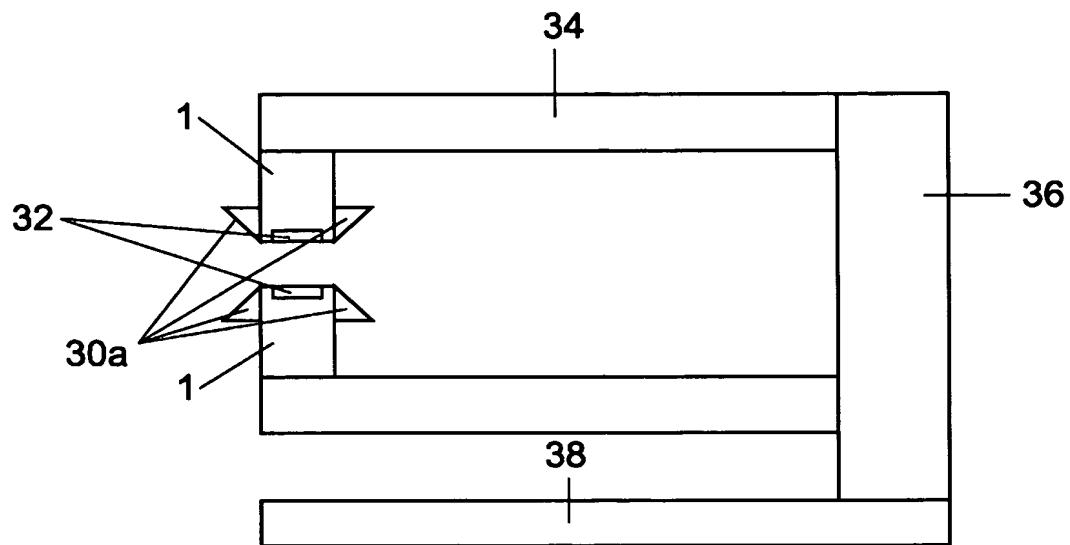
[図9]



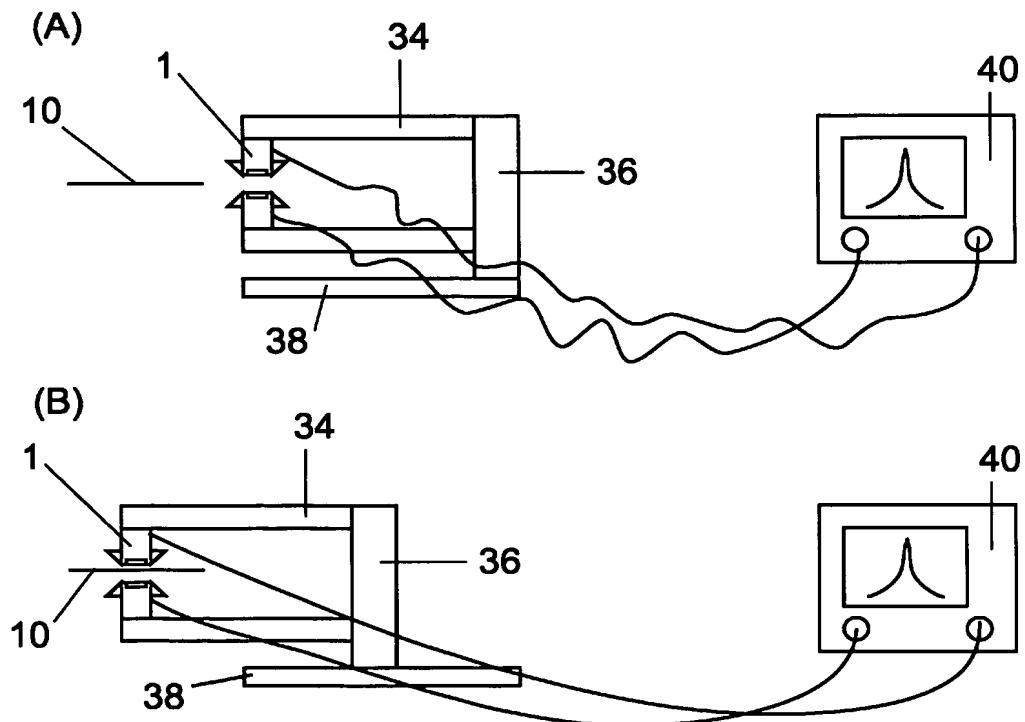
[図10]



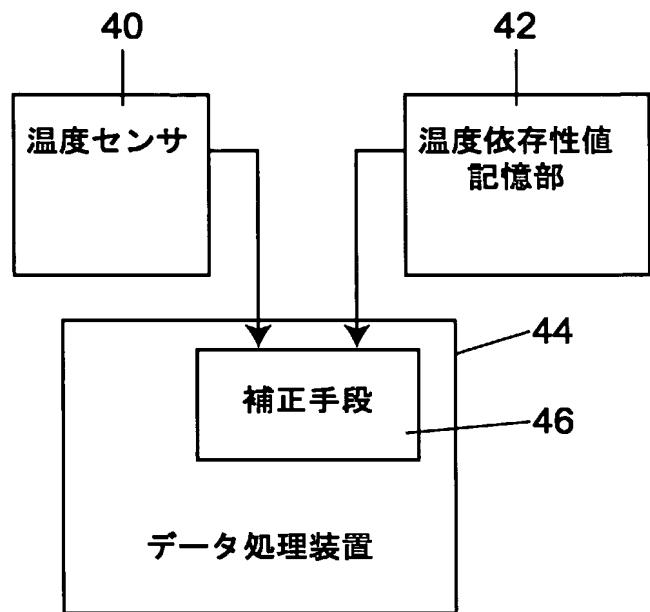
[図11]



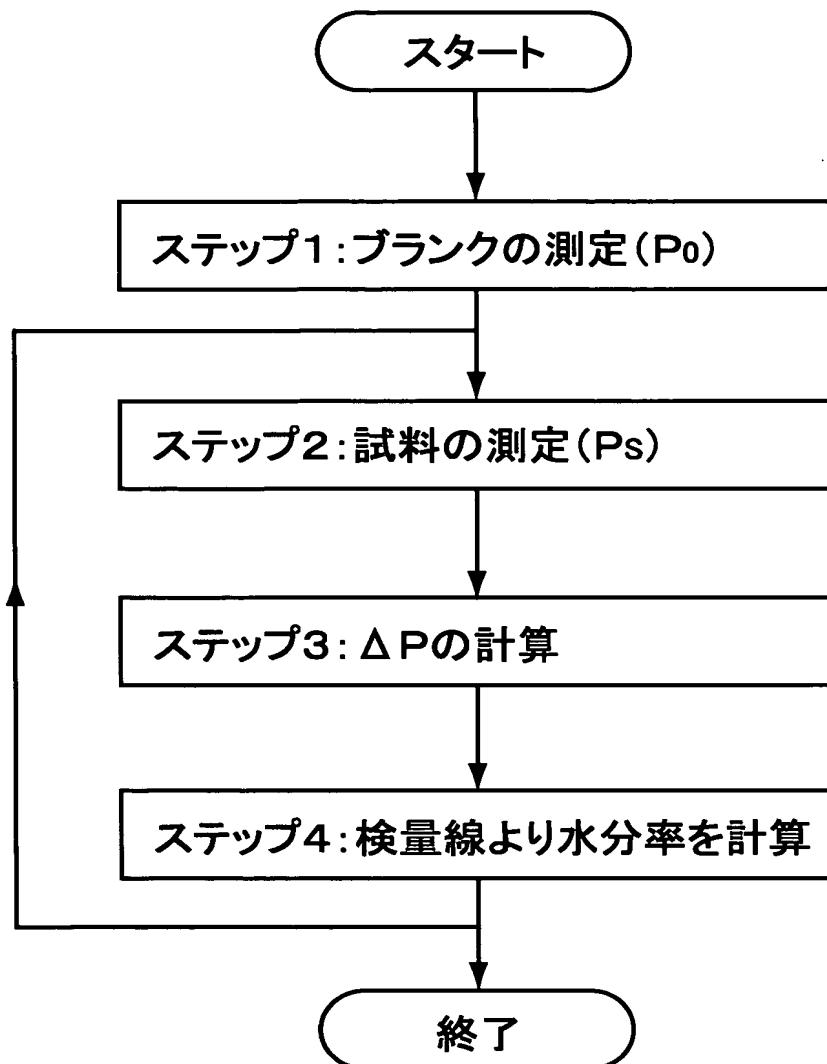
[図12]



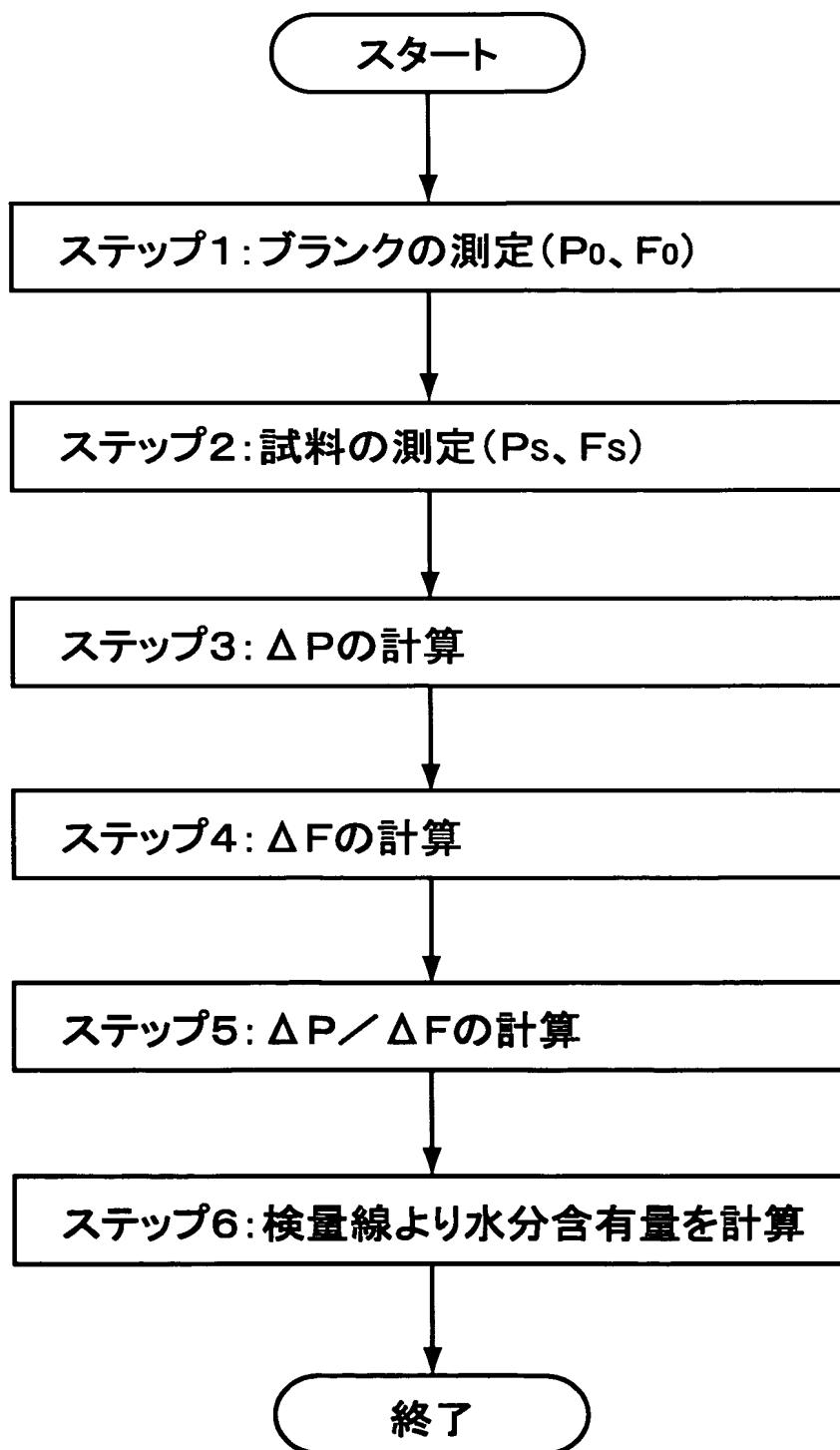
[図13]



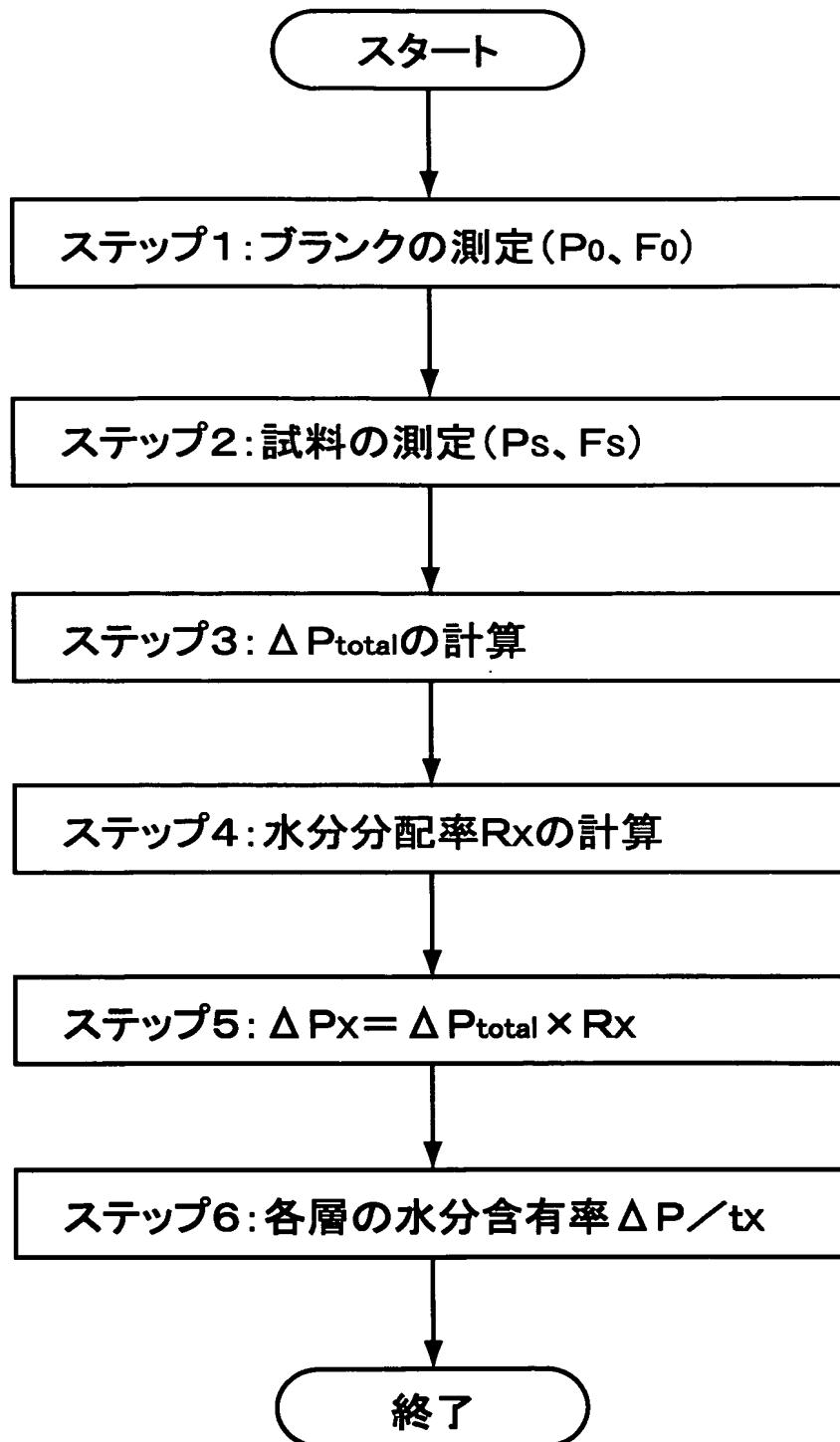
[図14]



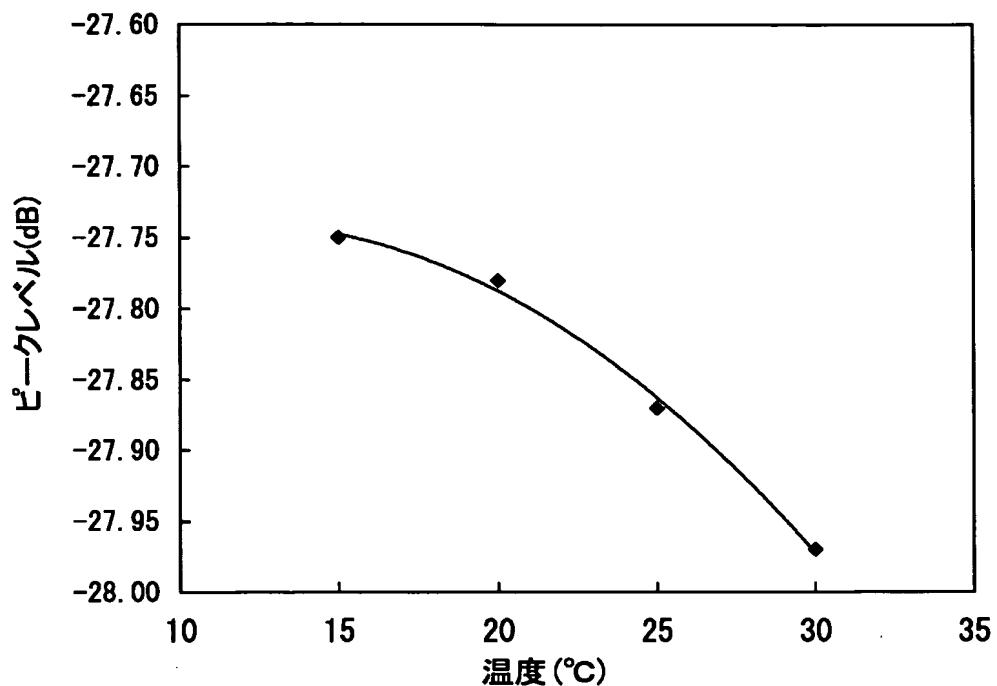
[図15]



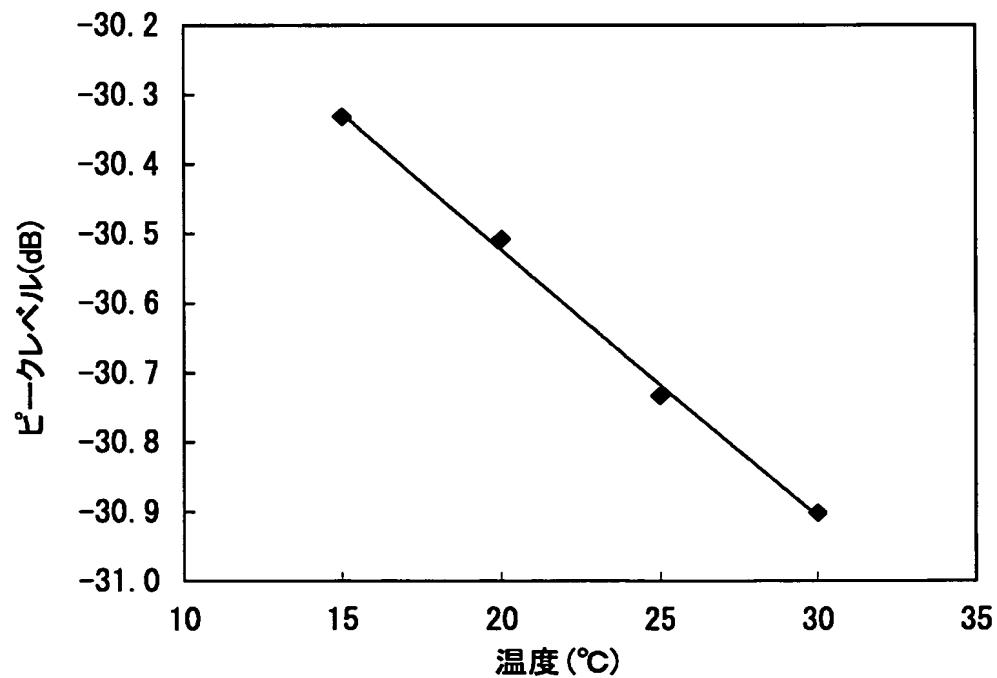
[図16]



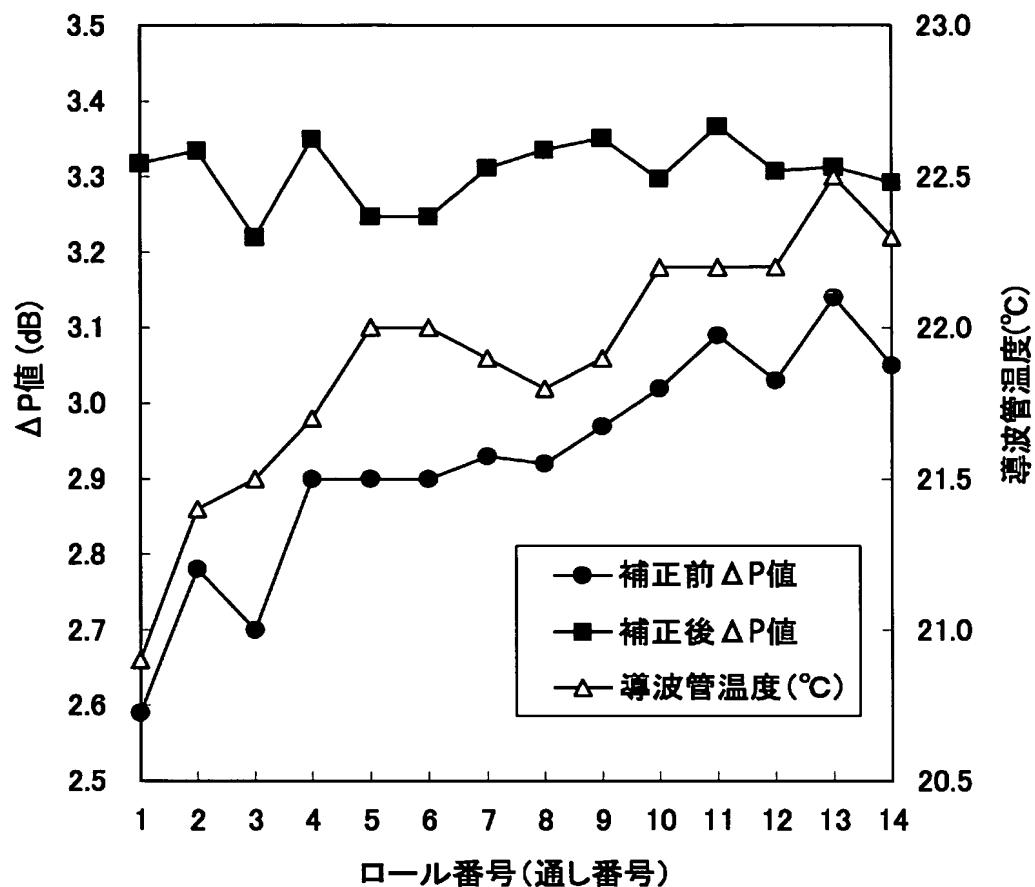
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010957

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.C1⁷ G01N22/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.C1⁷ G01N22/00-22/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JICST FILE (JOIS)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 62-195568 A (Kanzaki Paper Mfg. Co., Ltd.), 28 August, 1987 (28.08.87), Full text; all drawings (Family: none)	1,2,5-14 3,4,15,16
Y A	JP 56-39447 A (Shin'ichi SASAKI), 15 April, 1981 (15.04.81), Full text; all drawings (Family: none)	1,2,5-14 3,4,15,16
Y A	JP 9-325123 A (Hauni Maschinenbau A.G.), 16 December, 1997 (16.12.97), Full text; all drawings & EP 791823 A2 & US 6163158 A & DE 19705260 A & CN 1213080 A	1,2,5-14 3,4,15,16

 Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A"	document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E"	earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L"	document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O"	document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P"	document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T"	later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y"	document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&"	document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
04 October, 2004 (04.10.04)Date of mailing of the international search report
19 October, 2004 (19.10.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/010957

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 49-11195 A (Yoshio KOBAYASHI), 31 January, 1974 (31.01.74), Full text; all drawings (Family: none)	1,2,5-14
A		3,4,15,16
Y	JP 63-7892 Y2 (New Japan Radio Co., Ltd.), 08 March, 1988 (08.03.88), Full text; all drawings (Family: none)	2
Y	JP 2-55745 B2 (N.V. Philips' Gloeilampenfabrieken), 28 November, 1990 (28.11.90), Full text; all drawings & US 4361801 A & DE 2928487 A & FR 2461945 A & CH 650862 A	2
Y	JP 60-135752 A (Yokokawa Hokushin Denki Kabushiki Kaisha), 19 July, 1985 (19.07.85), Full text; all drawings (Family: none)	5,13
Y	JP 11-23492 A (Yugen Kaisha Akkusu), 29 January, 1999 (29.01.99), Full text; all drawings (Family: none)	12-14
A	JP 2-26182 B2 (Honshu Seishi Kabushiki Kaisha), 07 June, 1990 (07.06.90), Full text; all drawings (Family: none)	3
A	JP 2000-356601 A (Meidensha Corp.), 26 December, 2000 (26.12.00), Full text; all drawings (Family: none)	10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' G01N 22/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' G01N 22/00-22/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICSTファイル (JOIS)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 62-195568 A (神崎製紙株式会社) 1987. 0 8. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 5-14
A		3, 4, 15, 16
Y	JP 56-39447 A (佐々木真一) 1981. 04. 1 5, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 5-14
A		3, 4, 15, 16

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 04. 10. 2004	国際調査報告の発送日 19.10.2004
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 田中 洋介 2W 3009 電話番号 03-3581-1101 内線 3290

C (続き) . 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
Y	JP 9-325123 A (ハウニ・マシイネンバウ・アクチエ ンゲゼルシヤフト) 1997.12.16, 全文, 全図 & EP 791823 A2 & US 6163158 A & DE 19705260 A & CN 1213080 A	1, 2, 5-14
A		3, 4, 15, 16
Y	JP 49-11195 A (小林禕夫) 1974.01.31, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 2, 5-14
A		3, 4, 15, 16
Y	JP 63-7892 Y2 (新日本無線株式会社) 1988.0 3.08, 全文, 全図 (ファミリーなし)	2
Y	JP 2-55745 B2 (エヌ・ベー・フイリツブス・フル イランベンフアブリケン) 1990.11.28, 全文, 全図 & US 4361801 A & DE 2928487 A & FR 2461945 A & CH 650862 A	2
Y	JP 60-135752 A (横河北辰電機株式会社) 198 5.07.19, 全文, 全図 (ファミリーなし)	5, 13
Y	JP 11-23492 A (有限会社アックス) 1999.0 1.29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	12-14
A	JP 2-26182 B2 (本州製紙株式会社) 1990.0 6.07, 全文, 全図 (ファミリーなし)	3
A	JP 2000-356601 A (株式会社明電舎) 2000. 12.26, 全文, 全図 (ファミリーなし)	10